

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

Katedra textilních materiálů

**STUDIUM VLASTNOSTÍ SPLÉTANÝCH LAN**  
**A ŠŇŮR**

**STUDY OF NATURES OF BRAIDED CORDS**  
**AND ROPES**

Bc. Petra Vintrová

počet stran: 61

počet obrázků: 32

počet tabulek: 7

počet příloh: 4

Zadání DP

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 4. 1. 2010

.....

Podpis

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. Monice Vyšanské, Ph.D. a své konzultantce Ing. Ireně Lenfeldové, Ph.D. za odborné rady, připomínky, trpělivost a ochotu při zpracování této diplomové práce.

V neposlední řadě patří dík mé rodině a přátelům, který mi byli oporou po celý čas studia.

## Obsah:

<b>Anotace</b> .....	9
<b>Annotation</b> .....	9
<b>1. Úvod</b> .....	10
<b>2. Rešeršní část</b> .....	12
2.1 Technologie splétání .....	12
Používané termíny: .....	12
2.2 Rozdělení splétacích strojů .....	13
2.2.1 Dutinové splétací stroje .....	14
2.2.2 Ploché splétací stroje .....	14
2.2.3 Paličkovací stroje .....	15
2.3 Vybrané speciální splétací systémy .....	15
2.3.1 Speciální lanovací stroj .....	15
2.3.2 Výroba 3D splétaných struktur .....	15
2.4 Hlavní části splétacího stroje .....	17
2.4.1 Křídlová kola .....	17
2.4.2 Běžec .....	18
2.4.3 Sběrač nití .....	18
2.4.4 Vodiče výplně .....	18
2.5 Technologické parametry splétaných výrobků .....	19
2.6 Tahové namáhání .....	22
2.6.1 Tahové namáhání pramene .....	22
2.6.2 Tahové namáhání šňůry .....	23
2.7 Geometrické modelování .....	24
2.7.1 Modelování struktury šňůry (dle Pierce) .....	25
2.7.2 Geometrie šňůry .....	28
2.7.3 Poissonův poměr .....	32
2.8 Vyhodnocení naměřených dat .....	34
2.8.1 Matlab .....	34
2.8.2 Testometric .....	34
2.8.3 Nis Elements .....	35
2.8.4 QC-Expert .....	35

2.9 Polyamidové vlákno - PA 6 .....	39
<b>3 Experimentální část .....</b>	<b>41</b>
3.1 Výroba šňůry.....	41
3.2 Měření parametrů a vlastností pramene a šňůry .....	42
3.2.1 Měření pevnosti a tažnosti pramene .....	43
3.2.2 Měření pevnosti a tažnosti šňůry .....	44
3.2.3 Měření úhlu $\alpha$ , velikosti kosočtverečné jednotky $x$ a průměru $d$ .....	45
3.3 Vyhodnocení naměřených dat .....	48
<b>4. Závěr.....</b>	<b>57</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>62</b>

## Seznam použitých symbolů:

$T$	jemnost splétaného výrobku [tex]
$m$	hmotnost splétaného výrobku o délce $l$ [g]
$l$	délka splétaného výrobku o hmotnosti $m$ [km]
$H_s$	hustota splétání [cm <sup>-1</sup> ]
$x$	vzdálenost (délka) jednoho křížení pramenů [mm]
$d$	průměr šňůry po deformaci [mm]
$d_0$	průměr šňůry v relaxovaném stavu [mm]
$\alpha$	úhel křížení pramenů [°]
$P$	pevnost [N]
$\sigma$	napětí do přetrhu [Pa]
$f$	poměrná pevnost [cN/dtex]
$l_t$	tržná délka [km]
$\mathcal{E}_{y(b)}$	tažnost pramene(šňůry) [%]
$\theta$	rozdíl pravého úhlu a úhlu křížení pramenů $\alpha$ [°]
$q$	délka jedné strany kosočtverečné jednotky šňůry po zatížení [cm] (viz obr.11)
$p$	délka jedné strany strukturní jednotky po zatížení [cm] (viz obr.11)
$q_0$	délka jedné strany kosočtverečné jednotky šňůry v relaxovaném stavu [cm] (viz obr.11)
$p_0$	délka jedné strany strukturní jednotky v relaxovaném stavu [cm] (viz obr.11)
$n$	počet fibril v pramenu [1]
$m$	počet pramenů podílejících se na vytvoření šňůry [1]
$M$	hmotnost pramene, který tvoří jednu stranu kosočtverečné jednotky šňůry [g]
$l_y$	délka pramene, který tvoří jednu stranu kosočtverečné jednotky šňůry [cm]
$W$	hmotnost z počtu propletů šňůry [g]
$z$	počet kosočtverečných jednotek šňůry [1]
$c$	zvlnění pramene ve šňůře [cm]
$\varphi$	úhel navlnění pramene ve šňůře [rad]

$H_m$	vektorový zápis šroubovicového uspořádání pramene v elementární buňce
$r$	poloměr šroubovice [cm]
$i, j, k$	složky vektoru šroubovice
$\lambda_b$	pomocná proměnná k usnadnění výpočtu
$\lambda_y$	pomocná proměnná k usnadnění výpočtu
$\varepsilon_y$	tažnost navlněného pramene [mm]
$\nu_b$	Poissonův poměr pro šňůru
$\nu_y$	Poissonův poměr pro šňůru [1]
$R$	korelační koeficient [1]



## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá studiem vlastností splétaných šňůr, změnou struktury a geometrických parametrů při změně úhlu stoupání pramene ve šňůře a změnou parametrů v průběhu tahového namáhání. V první části se zaměřuje na technologii výroby a rozdělení základních splétacích strojů. Další část je zaměřena na geometrické parametry splétaných výrobků, modelování struktury šňůry a její změny v závislosti na tahovém namáhání.

V experimentální části jsou měřeny geometrické parametry jednotlivých šňůr a jejich změny při namáhání v tahu. Dále jsou porovnána experimentální a modelová data tažnosti v závislosti na měnícím se úhlu stoupání pramene. Následně byl zkoumán vztah mezi Poissonovým poměrem a výslednou tažností jednotlivých šňůr.

Klíčová slova: splétání, pramen, šňůra, úhel stoupání, tahové namáhání

## **Annotation**

The thesis deals with study of natures of braided ropes, a variation in structural and a variation in geometric parameters as a braid angle in a rope and parameters change during the tensile strain. The first part intents on a manufacturing technology and a partition of the basic stranding machines. Another part intents on geometric parameters of braided products, rope's structure modelling and its changes in a dependence on a tensile strain.

In the experimental part geometric parameters of particular ropes and their changes in the tensile strain are measured. Further experimental tensibility's information and model tensibility's information in a dependence on a changing braid angle of a braid are compared. Consequently a relationship of the Poisson's ratio and the final tensibility of particular ropes was examined.

Key words: braided, braid, rope, braid angle, tensile strain

## 1. Úvod

Proces splétání je svou podstatou velmi jednoduchý. V základní formě se jedna nebo několik soustav pramenů vzájemně proplétají v úhlopříčném směru. Vzniká provázání podobné tkanině, s rozdílem, že prameny procházejí výrobkem podélně a oproti tkanině je pouze jedna soustava nití. Vzniká válcová, popřípadě plochá struktura, ve které jsou prameny provázány v úhlopříčném směru dle požadovaného vzoru [1], [2].

Splétané struktury lze charakterizovat souborem vlastností. Mezi nejdůležitější patří jemnost, průměr, hustota splétání, úhel křížení pramenů a také mechanické vlastnosti jako je tažnost a pevnost. Úroveň těchto vlastností je do jisté míry ovlivněna zvoleným materiálem, ale také technologií výroby splétaného výrobku. Během procesu výroby lze geometrické parametry jako jsou hustota splétání a úhel křížení pramenů měnit pomocí regulace odtahové rychlosti dle konstrukčních možností stroje.

V této diplomové práci je sledováno chování šňůry různých hustot splétání bez jádra při namáhání v tahu a změny jejich geometrických parametrů. Byl hledán vhodný model tahového namáhání. Vycházelo se ze studia struktury tkaniny a předpokládalo se, že prameny jsou homogenní válce a deformují se ve všech místech šňůry stejně. Při měření geometrických parametrů byla použita obrazová analýza, abychom zjistili všechny geometrické parametry mezi relaxovaným stavem a přetrhem šňůry. Experimentální výsledky tažnosti jednotlivých šňůr byly porovnány s modelem tahového namáhání.

Cíl práce:

- Provést rešerši na téma: geometrický popis splétaných útvarů, možnosti modelování mechanicko-fyzikálních vlastností těchto útvarů.
- Definovat základní geometrické parametry strukturní jednotky splétaného útvaru.
- Na základě rešerše sestavit model tahového namáhání splétaného útvaru (zaměřeného na tažnost).
- Vytvořit splétané útvary v provozní laboratoři KTT (měnit úhel stoupání pramenů ve splétaném útvaru), pro různé úhly stoupání pramenů ve splétaném útvaru stanovit nastavení splétacího stroje.

- Experimentálně zjistit geometrické parametry a mechanicko-fyzikální vlastnosti vytvořených splétaných útvarů.
- Výsledky komparovat s modelem.

## 2. Rešeršní část

### 2.1 Technologie splétání

Kumihimo je název pro výrobu ozdobných šňůr a pásů. Kumi - splétat, himo - šňůra, pletenec. Technika splétání se rozvinula s příchodem buddhismu kolem r. 552 n. l.

Od roku 1970 mění kumihimo svou funkci a stává se vyhledávaným koníčkem. Nalézají se pro něj nové způsoby použití a šíří se mimo Japonsko, především do Spojených států a zemí západní Evropy [4].

Dnes se touto technologií vyrábějí nejen drobné výrobky s ozdobnou funkcí jako jsou různé prýmky, šňůrky, dutinky, ale také výrobky, u kterých jsou důležité jejich pevnostní charakteristiky – lana, ochranné pláště trubek a hadic atd.

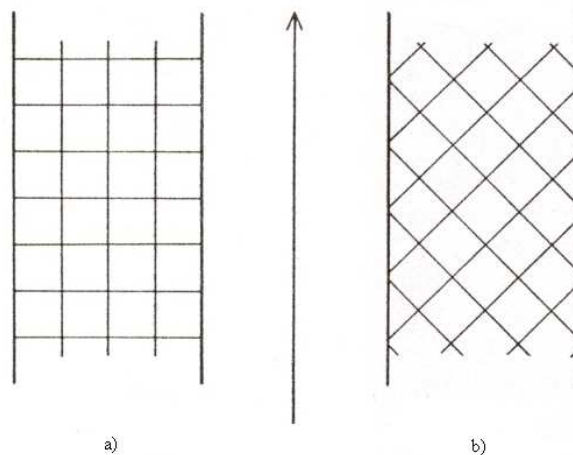
Používané termíny:

Šňůra - válcová, popřípadě plochá struktura podobná tkanině. Na rozdíl od tkaniny se neprovazují dvě soustavy nití (podélná a příčná), ale jen podélná soustava pramenů podle požadovaného vzoru v úhlopříčném směru viz obr. 1 b).

Pramen – délková textilie ze staplových nebo nekonečných chemických vláken opatřených zákrutem, z níž je tvořena šňůra.

Filament – jedno nekonečné vlákno v prameni.

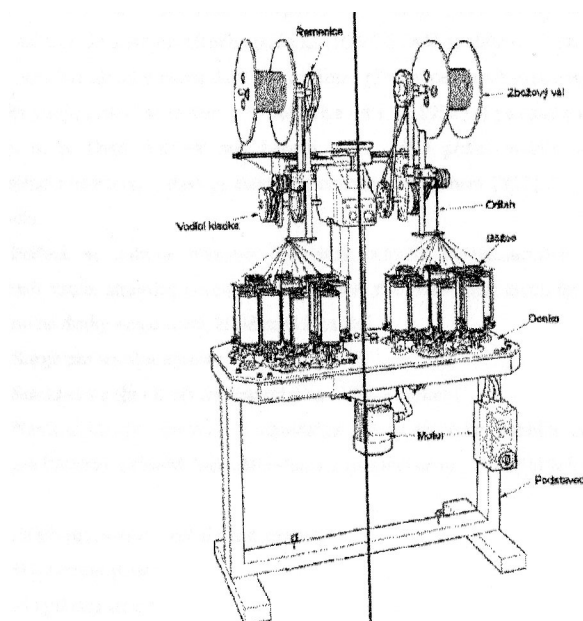
Proces splétání je svou podstatou velmi jednoduchý. V jeho základní formě se jedna nebo několik soustav pramenů vzájemně proplétají v úhlopříčném směru. Vzniká provázání podobné tkanině. Na rozdíl od tkaní, kde se provazují dvě soustavy pramenů a to podélná a příčná viz obr.1a, proplétání má jen podélnou soustavu. Prameny procházejí výrobkem podélně, vlivem proplétání dochází k jejich vzájemnému provázání viz obr.1b. Vytváří se souvislá šňůra uspořádaná do určitého tvaru [1], [2].



*Obr.1: rozdíl mezi splétanou a tkanou strukturou a) tkaná struktura, b) splétaná struktura – relaxovaný stav (tzn. úhly v kosočtverečné jednotce šňůry jsou shodné)[7]*

## 2.2 Rozdělení splétacích strojů

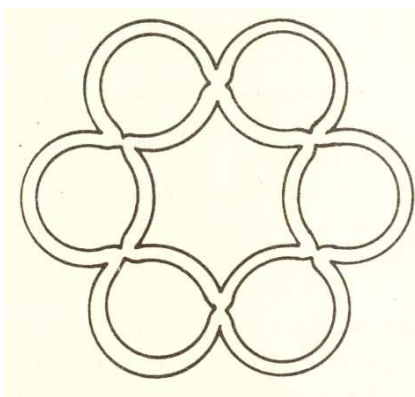
- a) ploché splétací stroje – výroba plochých výrobků
- b) dutinové splétací stroje – výroba dutinových výrobků (viz obr.2)
- c) paličkovací stroje – výroba krajk [3]



*Obr.2: dvouhlavý dutinový splétací stroj[1]*

### 2.2.1 Dutinové splétací stroje

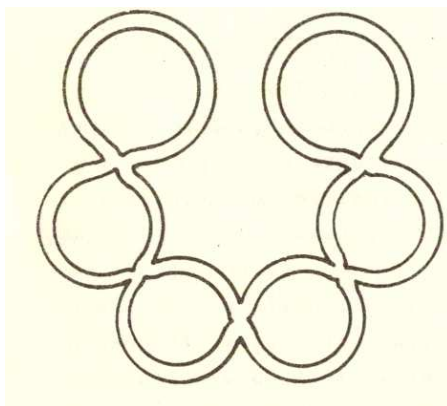
Tento typ stroje se skládá ze soustavy tzv. křídlových kol, které pohánějí běžce v příslušné vodící dráze. Křídlová kola mají uspořádání uzavřeného kruhu viz obr.3. Dutinové splétací stroje musí mít minimálně čtyři křídlová kola. Na konci křídel jsou umístěny běžce tak, aby v místě odvalování nedošlo k setkání dvou běžců. Běžce sledují vodící dráhu splétacího stroje a pohybují se ve dvou drahách. Jedna polovina běžců se pohybuje po vnějším úseku a druhá polovina běžců ve vnitřním úseku dráhy. V místě přecházení běžců z vnitřního na vnější úsek dráhy dochází ke křížení nití. Tomuto křížení se říká provazování (splétání) a vzniká vazný bod [3].



*Obr.3: příklad tvaru uzavřené vodící dráhy dutinového splétacího stroje [3]*

### 2.2.2 Ploché splétací stroje

Tento typ stroje je založen na stejném principu jako dutinový stroj (viz kapitola 2.2.1). Liší se uspořádáním křídlových kol. Místo uzavřeného kruhu, mají tvar otevřeného kruhu s vratným pohybem běžců viz obr.4. Na krajích dráhy jsou uložena vratná kola s lichým počtem běžců. Vodič má výplně. Vodič vede pomocí čepů křídlových kol otvory, kterými je možno vést výplň [3].



*Obr.4: příklad tvaru otevřených vodících drah plochého splétacího stroje[3]*

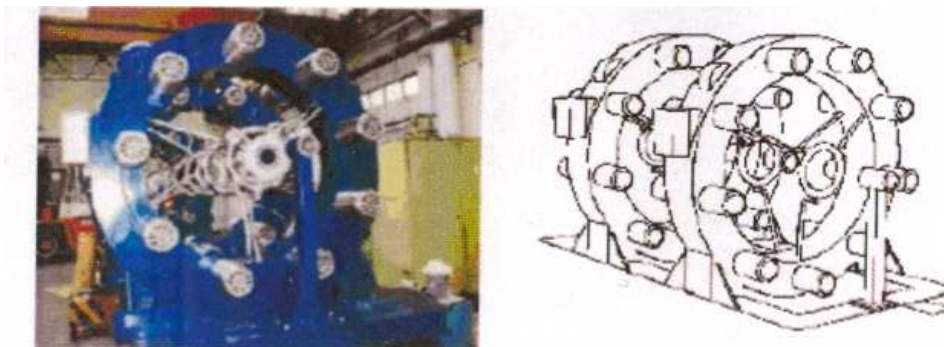
### 2.2.3 Paličkovací stroje

Pracují na stejném principu jako předchozí způsoby (viz kapitola 2.2.1 a 2.2.2). Paličkovací stroje jsou omezeny počtem paliček, který se nedá na stroji během výroby měnit. Stroj může vytvářet paličkované krajky jen v podélném směru. Stroj je charakterizován počtem použitých paliček a jejich roztečí. Stroje lze rozdělit na několik úseků, z nichž každý má minimálně dvě alternativy drah, po kterých se mohou pohybovat paličky. Přechod do jiné dráhy je ovládán žakárem pomocí výhybek. Postavení výhybek vytváří buď jednoduché šňůrky, nebo spojený výrobek [3].

## **2.3 Vybrané speciální splétací systémy**

### 2.3.1 Speciální lanovací stroj

Stroj je určen k armování kabelů hliníkovým a měděným drátem a ke splétání lan z hliníkových a měděných drátů a izolovaných vodičů. Princip stroje je odvozen od splétacího stroje. Zkrut jednotlivých poloh je tvořen otáčením košů s odvíjejícími cívkami (viz obr 5). Splétací a armovací zařízení se skládá ze čtyř samostatně poháněných košů. Pohyb koše je zajištěn pomocí asynchronního elektromotoru s plynulou regulací otáček pomocí převodového systému [1].



*Obr. 5: Speciální lanovací stroj [1]*

### 2.3.2 Výroba 3D splétaných struktur

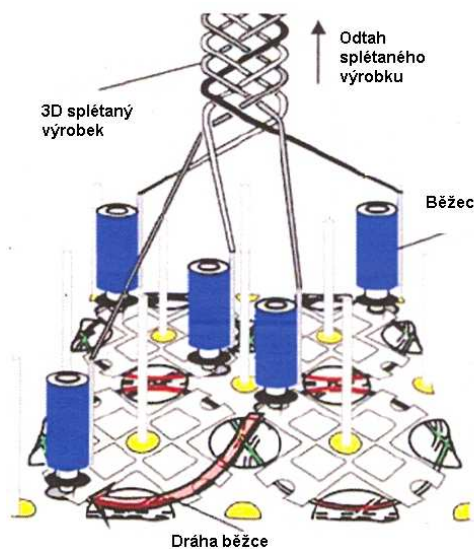
Výrobu 3D splétaných struktur reprezentují např. stroje firmy Herzog. Jedná se o stroje s radiální konstrukcí (viz obr.6). Dva systémy běžců se pohybují po dráze ve tvaru sinusoidy proti sobě (střídavý pohyb). Výsledkem je dutá textilie provázaná na trnu definovaného tvaru (viz obr.6). Výhodou této technologie je

možnost vyrobit splétaný výrobek tvaru "sítě" s různou tloušťkou a úhlem stoupání.



Obr.6: Výroba 3D splétaných struktur, stroj firmy Herzog [20]

Dalším způsobem výroby 3D splétaných struktur je tvorba v jednom kroku a technologie 3D splétání. Výrobky se skládají nejméně ze dvou soustav nití, které se navzájem kříží pod úhlem  $10^\circ$ -  $80^\circ$ . Výhoda oproti předcházejícímu způsobu je větší možnost a volnost pohybu běžců po celé ploše desky stroje dle programového zařízení. Pohyb je realizován prostřednictvím křídlových kol, které se otáčejí na protější straně a zajišťují transport běžců. Celá rotace křídlových kol je rozdělena do 4 čtvrtinových rotací, nazývanými kroky. Každé křídlové kolo může nést maximálně čtyři běžce. Spojnice vodících drah, které jsou umístěny mezi křídlovými koly, spojují dráhy po nichž se pohybují běžce. Dráha každého běžce po desce stroje může být navržena různým způsobem (viz obr.7).

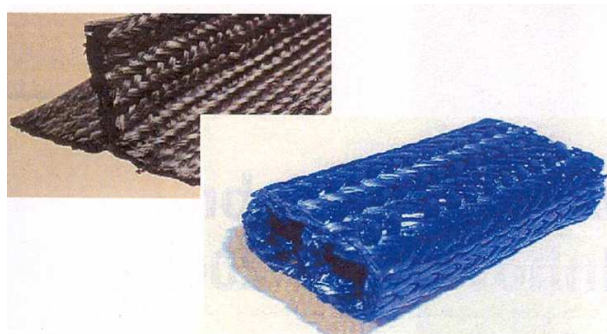


Obr.7: Výroba 3D splétané struktury v jednom kroku [20]

Výsledkem je celistvá splétaná struktura, která má navrženou definovanou konstrukci, kterou lze zhotovit.



3D splétané struktury mají různý tvar příčného řezu. Lze např. začít vyrábět T profil a změnit jej na obdélníkový (viz obr.8)[20].

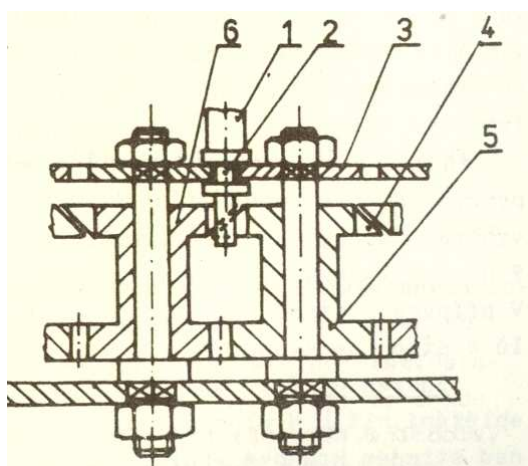


Obr.8: Různé tvary příčného průřezu 3D splétané struktury[20]

## 2.4 Hlavní části splétacího stroje

### 2.4.1 Křídlová kola

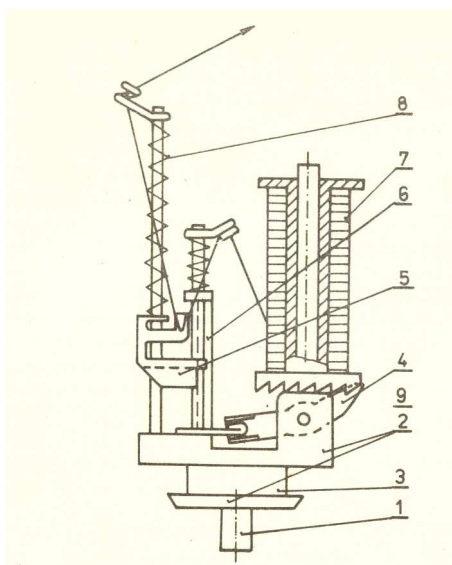
Mají po obvodu výřezy, do kterých zapadají unášecí trny běžců. Počet výřezů je dán typem stroje. Otáčivý pohyb z jednoho křídlového kola na druhé je zajištěn ozubenými koly, která jsou umístěna ve spodní části křídlových kol. Z obr. 9 je patrné, že běžec 1 je unášen pomocí unášecího trnu 2, na který působí křídla 4 spodních 5 a horních 6 křídlových kol. Správný pohyb běžce ve vodící dráze je zajištěn pomocí vodiče běžce 2 s oboustranným břitem. Tvar vodící stopky umožňuje běžci procházet správným směrem v dráze horní desky 3. Křídlová kola jsou ve své spodní části opatřena ozubenými koly, která zajišťují přenos otáčivého pohybu z jednoho křídlového kola na druhé [3].



Obr.9: unášení běžců s vodící drahou nad křídlovými koly [3]

### 2.4.2 Běžec

Příklad provedení běžce je na obr.10. Spodní část běžce tvoří unášecí čep 1, za který je běžec unášen zářezem v křídlovém kole. Běžec je veden v příslušné dráze, která je vytvořena v ocelové desce, ke které vodič přiléhá z obou stran spodní 2 a horní přírubou 3. Vlastní vedení běžce v dráze zajišťuje vodič 4, který má tvar lodičky. Na horní přírubě je upevněn trn 5, na kterém je nasazena cívka s nití 6, jejíž spodní příruba je opatřena rohatkou, do které zapadá západka 7. Nit 8, která jde z běžce ke sběrači, musí být pod stálým napětím [3].



*Obr. 10: Běžec splétacího stroje 1 – unášecí čep, 2 – vodící destičky, 3 – vodič, 4 – západka, 5 – nitěová zarážka, 6 – uvolňovač, 7 – cívka s materiálem, 8 – základní pružina, 9 – palec uvolňovače[3]*

### 2.4.3 Sběrač nití

Určuje sběrný bod, což je místo vlastního splétání nití. Tvar sběrače, jeho průměr a místo uložení je seřiditelné. To umožňuje různé nastavení hustoty vyráběného zboží. U dutinových i plochých strojů leží tento bod nad středem kruhové vodící dráhy [3].

### 2.4.4 Vodiče výplně

Umožňují vedení výplňkového materiálu. Vedení je realizováno buď vodiči, upevněnými na čepech křídlových kol nebo vodiči trubkovými, umístěnými uprostřed dráhy běžců [3].

## 2.5 Technologické parametry splétaných výrobků

### 2.5.1. Geometrické parametry

Dle ČSN 80 0890: Stuhařské a prýmkařské výrobky – metody zkoušení (1979), jsou pro splétané výrobky definované následující parametry:

#### Jemnost splétaného výrobku

Jemnost splétaného výrobku lze spočítat podle následujícího vztahu [8]:

$$T = m[g]/l [km] \quad (1)$$

$T$  ... jemnost splétaného výrobku [tex]

$m$  ... hmotnost splétaného výrobku o délce  $l$  [g]

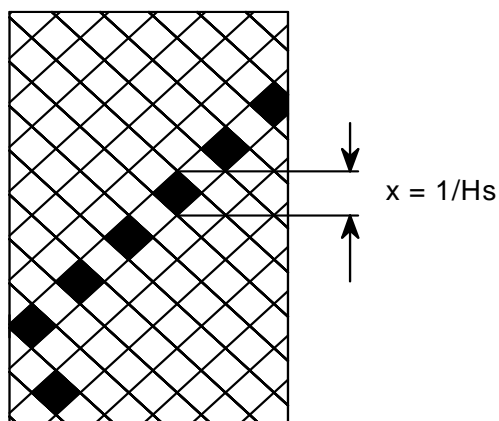
$l$  ... délka splétaného výrobku o hmotnosti  $m$  [km]

Jemnost vzorků je měřena gravimetrickou metodou, která spočívá v přesném odměření délky šňůry a jeho následném zvážení [8].

#### Hustota splétání

Hustota splétání je definována jako počet po sobě následujících přechodů pramenů z líce na rub na 1 cm délky výrobku a  $x$  je vzdálenost dvou vazných bodů ve šňůře.

Hustota splétání  $H_s$  [cm<sup>-1</sup>] se počítá na délce 2cm pomocí textilní lupy. Součet zjištěných hodnot se přepočítá na délku 1 cm s přesností na 1 splétání. Vzorek může být buď volně rozprostřen na stole, nebo upnut ve svislé poloze a zatížen závažím, dle předepsané normy [8].



Obr. 11: hustota splétání [2]

### Průměr šňůry

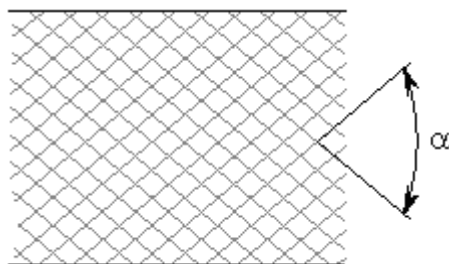
Dle ČSN 80 0890 se průměr šňůry  $d_0$  [mm] měří posuvkou, s přesností na 0,1 mm, střídavě v horizontální a vertikální rovině, na třech různých místech (6 měření). Průměr ze zjištěných průřezů se vypočítá s přesností na 0,001 mm a zaokrouhlí se na 0,01 mm [8].

V tomto případě měření průměru vzorku probíhalo v programu LUCIA (NIS Elements). Vzorek upnutý do čelistí trhačky byl snímán kamerou a následně vyhodnocen (viz Teoretická část - kapitola 2.8.3 a Experimentální část - kapitola 3.4.2).

### Úhel křížení pramenů

Úhlem  $\alpha$  byl nazvaný úhel, který mezi sebou svírají dva protisměrně uložené prameny, viz obr.12. Udává se v stupních [8].

V tomto případě měření opět probíhalo v programu LUCIA (NIS Elements viz Teoretická část - kapitola 2.8.3 a Experimentální část - kapitola 3.4.2)



Obr.12: úhel křížení pramenů ve šňůře - relaxovaný stav [2]

### 2.5.2 Mechanické parametry splétaného výrobku

Mechanické vlastnosti jsou popisovány tzv. Ultimativními charakteristikami, jako jsou:

- pevnost  $P$  [N]
- napětí do přetrhu  $\sigma$  [Pa]
- poměrná pevnost  $f$  [cN/dtex]
- tržná délka  $l_t$  [km]
- tažnost  $\varepsilon_{y(b)}$  [%]

#### Pevnost (síla do přetrhu) $P$ [N]

Pevnost je jedna ze základních mechanických charakteristik. Jedná se o sílu v N (Newtonech), která je potřebná k přetrhu [9].

#### Napětí do přetrhu $\sigma$ [Pa]

Pod pojmem napětí se rozumí absolutní síla přepočítaná na plochu průřezu vzorku. Protože plocha průřezu vzorku bývá těžko stanovitelná, přepočítává se absolutní síla na jemnost vzorku, což je poměrná pevnost v N/tex [9].

#### Tržná délka $l_t$ [km]

Patří k dalším pevnostním charakteristikám. Vyjadřuje délku pramene, který svojí vlastní hmotností způsobí přetrhnutí [9].

### Tažnost (deformace do přetrhu) $\varepsilon_{y(b)}$ [%]

Určuje se současně s pevností pramene (šňůry). Jde o prodloužení úseku pramene (šňůry) v okamžiku přetrhu vyjádřené v procentech upínací délky [9].

$$\varepsilon_{y(b)} = [(l - l_t)/l_t] 10^2 = (\Delta l / l_t) 10^2 \quad (2)$$

kde:  $\Delta l$ ....absolutní deformace [mm]

$l$ .....konečná délka po natáhnutí [mm]

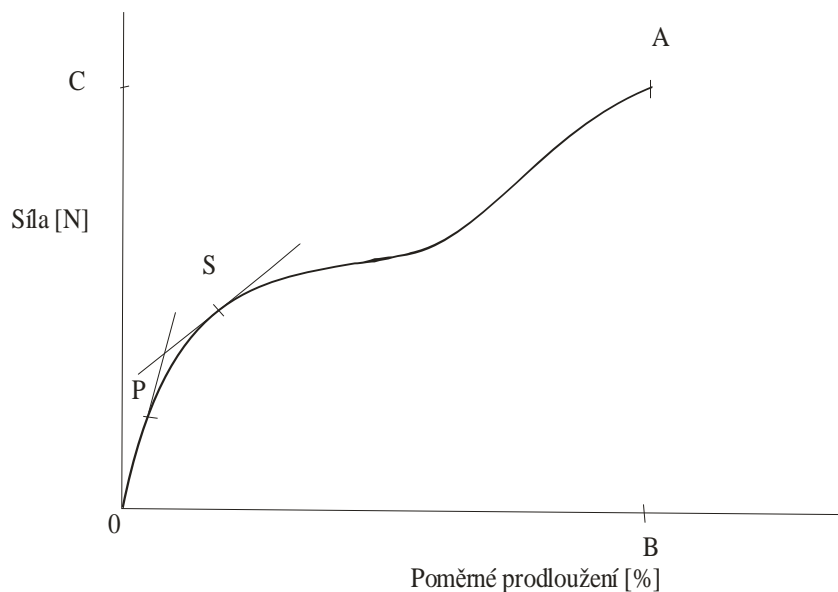
$\varepsilon_{y(b)}$  .....poměrné prodloužení pramene (šňůry) [%]

$l_t$ .....původní délka vzorku [mm], tzv. upínací délka

## **2.6 Tahové namáhání**

### 2.6.1 Tahové namáhání pramene

Při natahování pramene dochází k jeho prodloužení a následkem toho k jeho deformaci. Jedná se o zjištění meze pevnosti, neboli zatěžování pramene až do destrukce. Dochází k přetrhu materiálu v nejslabším místě zatěžovaného materiálu. Na obr.13 je patrná závislost prodloužení pramene na působící síle. Oblast  $O - P$  je oblastí pružných deformací. Deformovaný materiál se po uvolnění vrací do původního stavu. Uplatňuje se zde Hookův zákon. Bod  $P$  je označován jako mez pružnosti. Za tímto bodem se začínají projevovat plastické deformace až k počátku meze kluzu ( bod  $S$ ). Dochází k prodlužování pramene a přetrhu ( bod  $A$ ) [18].



*Obr.13: křivka tahového namáhání pramene, závislost poměrného prodloužení na působící síle[18]*

### 2.6.2 Tahové namáhání šňůry

Splétané šňůry při namáhání v tahu nemají výsledné křivky lineární. Při malých zatížení prochází splétané struktury geometrickými změnami, které způsobují neelastickou deformaci v prameni. Při vyšším zatížení se začnou objevovat změny ve zvlnění pramene. Tyto změny způsobují redukci průměru splétané šňůry, prodloužení šňůry v tomto stavu díky zvlnění nití je velké. Dochází k přorientaci pramenů ve směru zatížení a následnému prodloužení šňůry. Struktura šňůry je plně fixována tehdy, když zmenšování průměru je téměř zanedbatelné a dochází k přetrhu jednotlivých pramenů. Charakteristické vlastnosti pramenů určují mechanickou odezvu šňůry [5].

Tahová křivka šňůry je složena ze čtyř částí:

$OP$  = úsek s nulovým zatížením

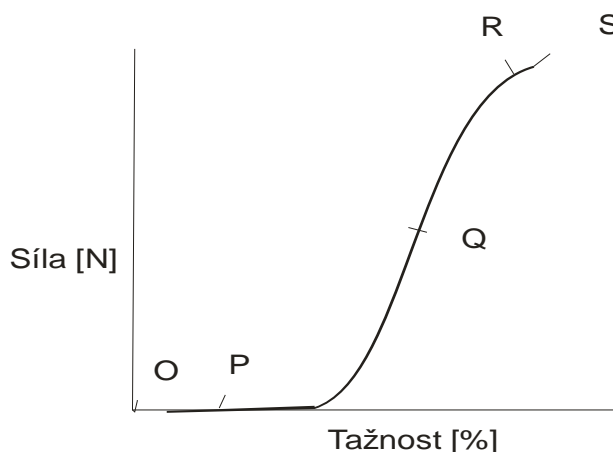
$PQ$  = část křivky pokračující od nulového zatížení k oblasti pružných deformací

$QR$  = lineární úsek, kde Youngův modul šňůry je konstantní

$RS$  = nepatrné konečné vyrovnaní křivky, vedoucí k bodu přetrhu  $S$

$RS$  je obvykle velmi malé a někdy zanedbatelné.

Z obr. 14 je patrné, že tahová křivka šňůry má odlišný průběh než tahová křivka pramene (viz obr.13).

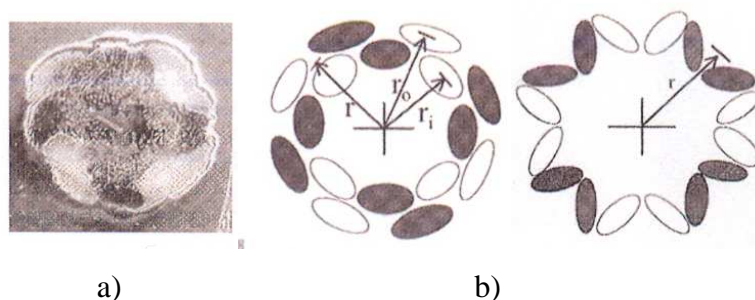


Obr. 14: křivka tahového namáhání šňůry[5]

## 2.7 Geometrické modelování

Předpokladem pro geometrické modelování je vytvoření idealizované formy, neboli idealizovaného příčného řezu. Obr.15 ukazuje rozdíly mezi ideálním geometrickým modelem (b) a skutečnou šňůrou v příčném řezu (a).

V tomto modelu předpokládáme, že šňůra je složena ze stále stejných a dokonale pružných pramenů, které opisují spirálu kolem válce o poloměru  $r$ . Tyto prameny jsou ve dvou vrstvách (obr.8) a přechází z vnitřní vrstvy do vnější a naopak [5].



Obr.15:příčný řez šňůrou – a) skutečná šňůra, b) idealizovaný příčný řez šňůry[5]

V kartézském souřadnicovém systému je šroubovicové uspořádání niti v elementární buňce  $2\pi$  formulováno takto:

$$H_m[\pi(1 + n)] = [r \cos\{\pi(1 + n)\}i, r \sin\{\pi(1 + n)\}j, h(n - 1)k] \quad (3)$$



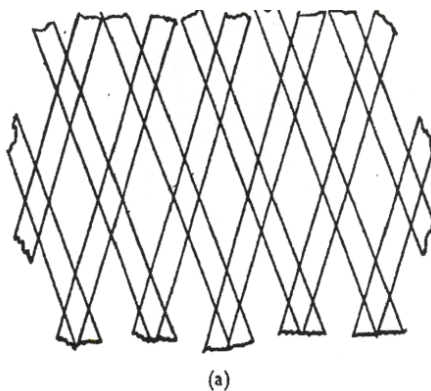
Kde  $h$  je výška šroubovice,  $r = (r_i + r_0)/2$  a  $n = i/m$  ( $i = 2, 4, 6, \dots, m$ ), a  $m$  je počet pramenů podílejících se na vytvoření šňůry;  $i, j, k$  jsou složky vektoru šroubovice.

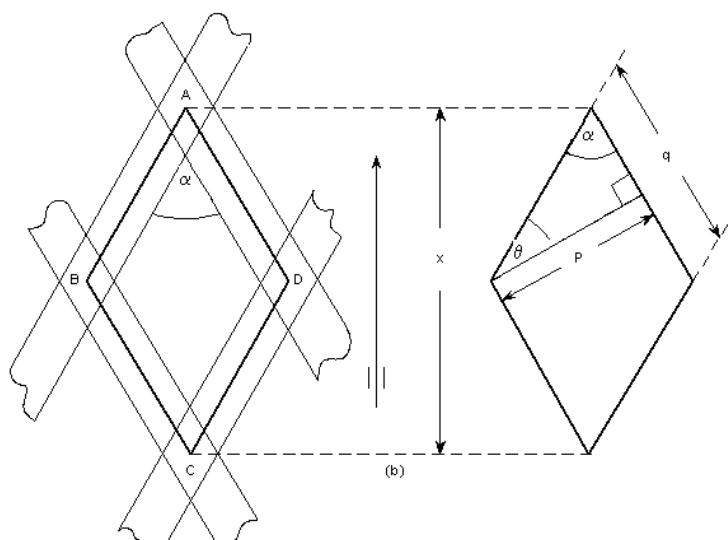
### 2.7.1 Modelování struktury šňůry (dle Pierce)

Splétaná struktura vzniká v základní formě tak, že se jedna nebo několik soustav pramenů vzájemně proplétají v úhlopříčném směru (viz Teoretická část, kapitola 2.1). Splétaná struktura je velmi podobná struktuře tkaniny, proto první zkoumání struktury šňůry vycházelo ze struktury tkaniny.

První studium struktury šňůry bylo vyvinuto Piercem a od té doby bylo následováno řadou dalších autorů. Pierce zpočátku předpokládal, že prameny ve šňůře jsou pružné válce provázané v pravidelně se opakujícím vzoru, později zvažoval i účinek stlačení a tuhost niti.

Projekci pramenů ve šňůře představuje kosočtverečná mříž viz obr. 16. Jednotka kosočtverečné mříže je tvořena osami přiléhajících pramenů a tvoří kosočtverec o vrcholech ABCD (16b). Je-li směr určený osou kosočtverce, pak  $x$  je vzdálenost jednoho křížení a úhel  $\alpha$  je tvořen křížením pramenů, jejichž osa je paralelní s osou pramenů. Dojde-li k prodloužení nebo zkrácení podél osy šňůry, úhel  $\alpha$  bude mít tendenci se snížit, nebo zvýšit [6].





Obr. 16: projektování nití ve šňůře v zatíženém stavu [6]

#### Pozice zaklesnutí vazných bodů (jamming positions)

Jsou-li prameny šňůry složeny z pružného, neroztažitelného a nestlačitelného materiálu, může dojít ke zkrácení nebo prodloužení šňůry mezi minimálními a maximálními hodnotami  $x$ . Šňůra je v rovnováze ve všech hodnotách mezi minimem a maximem  $x$ . Při dosažení maximální hodnoty, jsou prameny zafixovány ve vazných bodech proti dalšímu pohybu v daném směru [6].

Je-li šňůra jednotné konstrukce má vždy následující parametry:

1. vazba
2. konstantní pozice a počet pramenů v jádře (pokud je)
3. konstantní počet filamentů v pramenu ( $n$ )
4. konstantní počet pramenů ( $m$ ), které tvoří šňůru
5. průměrná hmotnost pramene, který tvoří jednu stranu kosočtverečné jednotky šňůry ( $M$  v gramech)
6. jemnost pramene ( $T$  v tex)
7. průměrná délka pramene, který tvoří jednu stranu kosočtverečné jednotky vazby šňůry ( $q$  v cm) (viz obr. 16)

Jestliže  $W$  je hmotnost  $z$  (počet jednotek) propletů šňůry v gramech, pak:

$$M = W/4 \cdot z \cdot m \cdot n \text{ [g]} \quad (4)$$

$$M = T \cdot q \cdot x \cdot 10^{-5} \text{ [g]} \quad (5)$$

$$q = W \cdot x \cdot 10^5 / 4 \cdot z \cdot m \cdot n \cdot T \text{ [cm]} \quad (6)$$

Z rovnice (6) získáme přesnou hodnotu  $q$ .

Následující parametry mohou být variabilní (1/2 výšky kosočtverecné jednotky), jestliže je šňůra v zatíženém, nebo nezatíženém stavu:

- vzdálenost jednoho křížení pramenů ( $x$  [cm])
- úhel křížení pramenů ( $\alpha$  [°])

Zvlnění pramene  $c$  ve šňůře po zatížení je definováno jako rozdíl mezi skutečnou délkou pramene a délkou ve šňůře vyjádřenou jako procento konečné délky. Když  $q$  je délka jedné strany kosočtverecné mříže viz obr.16, pak  $c$  bude:

$$c = (q - q_0)/q_0 \quad (7)$$

$q_0$ ... počáteční délka jedné strany kosočtverecné jednotky

Rozdíl mezi délkou volného pramene a délkou pramene ve šňůře je vyjádřeno jako procento konečné délky nazývané zkrácení vlivem spletení:

$$t = (2q - x)/x \quad (8)$$

Struktura šňůry se pohybuje ve dvou extrémních hodnotách (minimálních a maximálních), tím se mění i hodnoty  $c$  a  $t$ . Hodnota  $c$  bude minimální, pokud úhel  $\alpha$  bude 90° a maximální v pozici zaklesnutí vazných bodů. Hodnota  $t$  bude minimální při maximálním prodloužení a maximální v základním relaxovaném stavu šňůry [6].

### 2.7.2 Geometrie šňůry

Předmětem další části je získat vztah mezi konstantami  $n$  (konstantní počet filamentů v pramenu),  $T$  (jemnost pramene), a  $q'$  (počáteční délka jedné strany kosočtverečné jednotky) a proměnnými  $x$  (vzdálenost jednoho křížení pramenů) a  $\alpha$  (úhel křížení pramenů), aby bylo možné předpovídat pozice zaklesnutí vazných bodů a jejich rozměry ve všech stupních mezi těmito pozicemi.

Důležité jsou hodnoty  $\alpha$  rovné nebo menší než  $90^\circ$ . Když  $\alpha$  překročí  $90^\circ$  v kosočtverečné mřížové jednotce, pak  $\theta$  bude rovna ostrému úhlu  $90^\circ - \alpha$ .

Předpokládá-li se, že opakující se jednotka šňůry je kosočtverečná mříž ABCD, potom:

$$\theta = 90^\circ - \alpha \quad (9)$$

$$q = (x/2) \sec(\alpha/2) \quad (10)$$

$$\sec x = 1/\cos x \quad (11)$$

$$\operatorname{cosec} x = 1/\sin x \quad (12)$$

Dosazením do rovnice (7) lze hodnotu  $c$  vyjádřit následovně:

$$c = \frac{q - \left[ \left( \frac{x}{2} \right) \sec \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right]}{\left[ \left( \frac{x}{2} \right) \sec \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right]} \quad (13)$$

$$p = q \sin \alpha = x \sin(\alpha/2) \quad (14)$$

$$\cos(\alpha/2) = x / (2q) \quad (15)$$

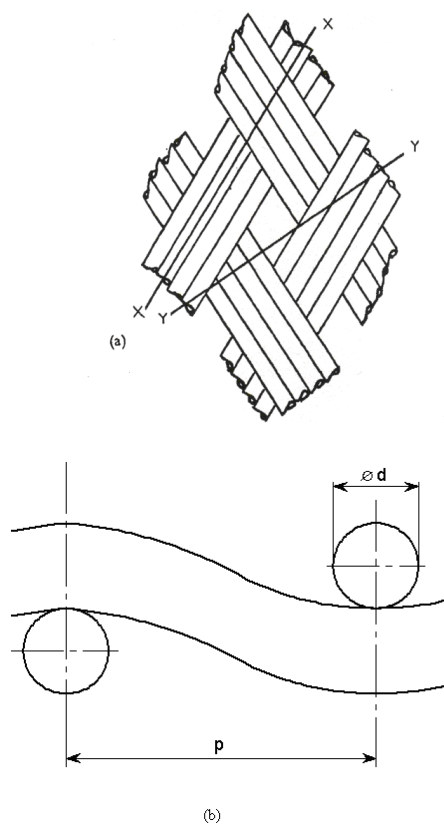
$$q = \frac{x}{2 \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right)} \quad (16)$$

$$q = x / [2 \cos(\alpha/2)] \quad (17)$$

$$x = p \operatorname{cosec}(\alpha/2) \quad (18)$$

$\theta$ ...rozdíl pravého úhlu a úhlu křížení pramenů  $\alpha$  [ $^\circ$ ]

Na obrázku 17 a) je kosočtverečná mříž šňůry pro  $n = 4$ , na obr 17 b) je příčný řez šňůrou pro  $n = 1$ .

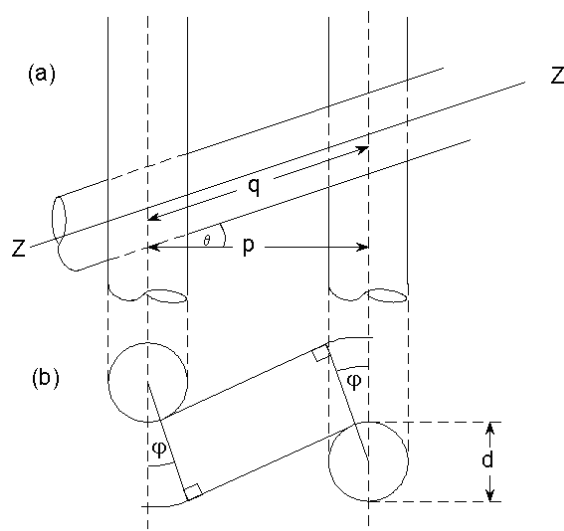


obr 17: a- kosočtverečná mříž šňůry, b - je příčný řez šňůrou[6]

Ze schématu na obr.17 je patrné, že:

$$p = x \sin (\alpha/2) \quad (19)$$

Na obr. 18 a) je znázorněn pramen a okraje z přiléhajících pramenů, na obr.18 b) je znázorněna projekce pramenů na rovinu kolmou k rovině okrajových pramenů.



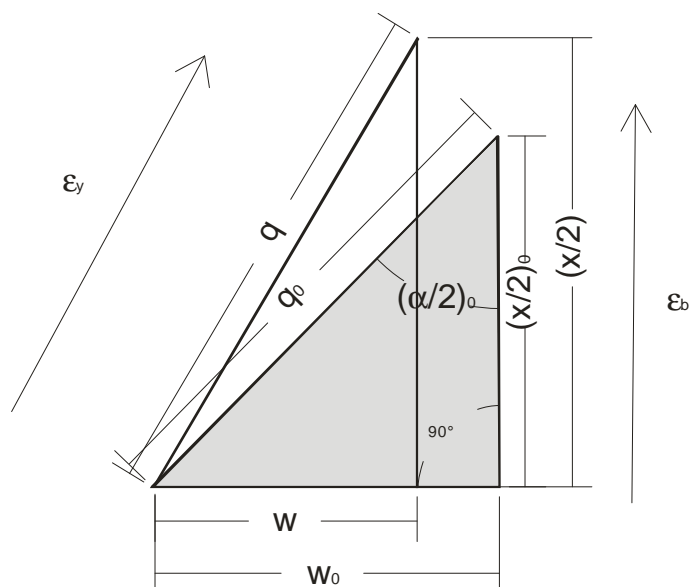
Obr.18 : struktura šňůry I [6]

Z obr.18 lze vyjádřit:

$$\varphi = \tan^{-1} p - \cos^{-1} \left( \frac{2}{\sqrt{1+p^2}} \right) \quad (20)$$

$\varphi$ ...úhel navlnění pramene ve šňůře [rad]

Pro zjednodušení problému lze uvažovat, že elementární buňka šňůry je pravoúhlý trojúhelník, což je  $\frac{1}{4}$  kosočtverečné jednotky viz obr. 19. Při zatížení ve směru osy se délka pramene ( $q$ ) a výška ( $x/2$ ) (jednotková) zvětší, strukturní jednotka ( $w$ ) a úhel pramene ( $\alpha/2$ ) se sníží. Schéma tohoto procesu, prodloužení šňůry  $\varepsilon_b$  a prodloužení pramene  $\varepsilon_y$ , je znázorněno na obr.19.



Obr.19: deformace splétaného výrobku[5]

Nové rozměry elementární buňky mohou být vyjádřeny takto:

$$(x/2)' = (x/2_0) + d(x/2_0) \quad (21)$$

$$q' = q_0 + dq_0 \quad (22)$$

$$w' = w_0 + dw_0 \quad (23)$$

$$\alpha/2 = \sin^{-1} (w_0'/q_0) \quad (24)$$

Substituce k usnadnění výpočtu:

$$\lambda_y = 1 + \varepsilon_y \quad (25)$$

$$\lambda_b = 1 + \varepsilon_b \quad (26)$$

$\varepsilon_y$ ... prodloužení pramene

$\varepsilon_b$ ... prodloužení šňůry

$\lambda_y$ ...tažnost pramene

$\lambda_b$ ...tažnost šňůry

kde

$$\varepsilon_y = dq_0/q_0 \quad (27)$$

$$\varepsilon_b = d(x/2)_0 / (x/2)_0 \quad (28)$$

z rovnice 25 a 27 vyplývá:

$$\lambda_y = 1 + \varepsilon_y = 1 + dq_0/q_0 \quad (29)$$

obr.19 předpokládá, že deformovaná elementární buňka bude mít stále pravoúhlé uspořádání.

$$\lambda_y^2 = \left( \frac{w}{q_0} \right)^2 + \left( \frac{x/2}{q_0} \right)^2 \quad (30)$$

$$\lambda_y^2 = (1 - \nu_b \varepsilon_b)^2 \sin^2 \alpha/2 + \lambda_b^2 \cos^2 \alpha/2 \quad (31)$$

kde  $\nu_b$  je Poissonův koeficient pro šňůru. Pokud se  $\varepsilon_y^2$  a  $\varepsilon_b^2$  blíží k nule, pak:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_b (\cos^2 \alpha/2 - \nu_b \sin^2 \alpha/2) \quad (32)$$

Hodnota  $\nu_b$  (Poissonův poměr pro šňůru) je dle Brunnschweilera [6] rovna 0,5 a hodnota  $\nu_y$  (Poissonův poměr pro pramen) je rovna 0,25.

$$\varepsilon_y = (\cos^2 \varphi - \nu_y \sin^2 \varphi) \quad (33)$$

$\varepsilon_y$ ...tažnost navlněného pramene ve šňůře [%]

Dosazením do (32) a (33) vztah mezi prodloužením nití  $\varepsilon_y$ , prodloužením šňůry  $\varepsilon_b$ , úhlem sklonu pramene v kosočtverečné jednotce  $\alpha/2$  a úhel navlnění pramene  $\varphi$  mohou být vyjádřeny jako [4]:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_b (\cos^2 \varphi - \nu_y \sin^2 \varphi) (\cos^2 \alpha/2 - \nu_b \sin^2 \alpha/2) \quad (34)$$

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_y}{(\cos^2 \varphi - \nu_y \sin^2 \varphi)(\cos^2 \alpha/2 - \nu_b \sin^2 \alpha/2)} \quad (35)$$

$\varphi$  - úhel navlnění pramene ve šňůře [rad], viz vztah (20)

### 2.7.3 Poissonův poměr

Poissonův poměr je pojmenován podle Siméona Poissona. Je-li vzorek materiálu natáhnut v jednom směru, v ostatních směrech se jeho rozměr zmenší [19]. Je tedy definován jako poměr poměrného příčného zkrácení k poměrnému



podélnému prodloužení v oblasti pružných deformací. Hodnota Poissonova poměru vyjadřuje pružnou stlačitelnost tělesa, tj, schopnost zmenšovat (při stlačení), nebo zvětšovat (při tahu) svůj objem během pružné deformace [22]. Poissonův poměr je míra této tendence.

Pro dokonale nestlačitelný materiál při elastických deformacích by byl Poissonův poměr přesně 0,5. Většina materiálů má hodnotu Poissonova poměru v rozmezí 0,0 až 0,5. Většina ocelí a tuhé polymery mají hodnoty Poissonova poměru 0,3. Pro gumu, která je téměř nestlačitelná, je Poissonův poměr téměř 0,5.

Některé materiály, jako jsou pěny polymerů, mohou mít záporný Poissonův poměr. Jedná se o auxetické materiály, tzn. že při zvětšení rozměru v jednom směru dochází ke zvětšení rozměrů ve všech směrech [19].

Předpokládám-li, že materiál je namáhán v axiálním směru, pak platí:

$$\nu_b = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_a} \quad (36)$$

kde:  $\nu_b$ ...Poissonův poměr

$\varepsilon_t$ ...transverzální deformace (negativní při natahování v axiálním směru a pozitivní při stlačení v axiálním směru),

$\varepsilon_a$ ...axiální deformace (pozitivní při natahování v axiálním směru a negativní při stlačení v axiálním směru) [19].

Znám-li prodloužení vzorku a změnu průměru vzorku ve stejném čase, lze vyjádřit  $\varepsilon_t$  a  $\varepsilon_a$  následovně:

$$\varepsilon_t = \frac{d - d_0}{d_0} \quad (37)$$

$$\varepsilon_a = \frac{l - l_t}{l_t} \quad (38)$$

kde:  $d$  ...průměr vzorku po deformaci [mm]

$d_0$ ...počáteční průměr vzorku [mm]

$l$ ...délka vzorku po deformaci [mm]

$l_t$ ...počáteční (tržná) délka vzorku [mm] [19].

## **2.8 Vyhodnocení naměřených dat**

Měření tahového namáhání a prodloužení pramene a šňůry bylo provedeno na trhačím přístroji Testometric za standardních klimatických podmínek. V průběhu tahového namáhání byla šňůra snímána mikroskopem a CCD kamerou každou jednu sekundu. Kamera byla připojena k notebooku s nainstalovaným softwarem NIS Elements. Výsledná data prodloužení a tahového namáhání byla zpracována v programech Matlab a QC – Expert (viz Experimentální část, kapitola 3.3.2). Sekvence snímaných obrazů byla následně zpracována v programu NIS Elements (viz Teoretická část, kapitola 2.8.3 a Experimentální část, kapitola 3.2.3).

### **2.8.1 Matlab**

Je programové prostředí a skriptovací programovací jazyk pro vědeckotechnické numerické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, počítačové simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. Nástavbou Matlabu je Simulink – program pro simulaci a modelování dynamických systémů, který využívá algoritmy Matlabu pro numerické řešení především nelineárních diferenciálních rovnic [15].

### **2.8.2 Testometric**

Testometric je univerzální zkušební přístroj použitelný ve všech průmyslových odvětvích. Používá se pro zkoušení různých materiálů, kontrolu kvality a jiné. Na přístroji probíhá testování a vyhodnocení mechanických vlastností zkoušených materiálů, včetně tahových křivek pro jednotlivé zkoušky.

Součástí zařízení je integrovaný PC systém s univerzálním zkušebním programem pracujícím ve Windows s průmyslovými normami a předinstalovanými specifickými zkouškami. Univerzální zkušební program winTest™ Analysis je vícefunkční software, který podporuje specifikace mezinárodních norem včetně ISO, EN a dalších. Podporované specifikace zkoušek zahrnují pevnost v tahu, v tlaku, průhyb, trhání, průraz a jiné. Automatizované ukládání všech dat jednotlivých testů, snadný export do Wordu, Excelu, Accessu [16].

### 2.8.3 Nis Elements

Programový systém vyvinutý pro pořizování a ukládání obrazů, interaktivní měření geometrických vlastností vláken, přízí a plošných textilií nebo jiných netextilních materiálů. Systém umožňuje archivování rozsáhlých obrazových sekvencí a jejich zpracování.

Části systému: PC se softwarem Lucia, kamera, mikroskop, nebo makroskop .

Použití: měření jemnosti vláken, přízí, měření poškození vláken, průměru přízí, počtu ovinků a jiné [17].

Postup práce s obrazovou analýzou pro měření průměru šňůry  $d$ :

- otevření sekvence obrazů
- převod barevného obrazu do šedo-tónové stupnice
- transformace šedo-tónového obrazu do binárního tvaru
- zadání příznaků polí - MinFeret
- změření příznaků polí - MinFeret
- exportování získaných dat [10]

Postup práce s obrazovou analýzou pro měření úhlu křížení pramenů  $\alpha$  a vzdálenosti křížení pramenů  $x$  – interaktivně:

- otevření sekvence obrazů
- zobrazení dokovacího okna
- měření – délka, popř. úhel
- identifikace délky, popř. úhlu
- změření délky, popř. úhlu – měřily se vždy tři hodnoty na každém desátém snímku (po 10-ti sekundách)
- exportování získaných dat [10]

### 2.8.4 QC-Expert

Tento software je součástí komplexní metodiky zpracování dat. Použité metodiky jsou zvoleny tak, aby pokryly celou problematiku ve standardních situacích i při porušení základních předpokladů o datech, jako je normalita,

homogenita, nebo nezávislost. Software obsahuje pečlivě vybrané statistické metody vyžadované normami a předpisy. Při vyhodnocování diplomové práce byl použit modul *Základní statistika*. [13]

### **Základní statistika**

Jedná se o přehlednou analýzu statistických vlastností dat, která vypočítá základní popisné statistiky, intervaly spolehlivosti, robustní odhady střední hodnoty a rozptylu. Provede test normality, nezávislosti a homogenity [13].

### **Pivotační metoda – Hornův postup**

Tento postup je použitelný pro 4 – 20 platných měření. Statistické zpracování vychází z pořádkové statistiky souboru. Podle počtu měření se určí hloubka pivotů, pivotová polosuma (odhad střední hodnoty) a pivotové rozpětí. Součin pivotového rozpětí a kvantitu rozdělení pro  $1 - \alpha = 0,975$  udává odhad intervalu spolehlivosti [12].

### **Porovnání dvou výběrů - párové porovnání**

Tento modul je použitelný pro podrobnou analýzu dvou datových souborů. Párové porovnání analyzuje jeden a týž soubor měřený dvakrát za různých podmínek, tím je získána dvojice proměnných. Cílem je rozhodnout, zda tyto podmínky ovlivňují měřenou hodnotu. Posuzuje se především, zda střední hodnota rozdílu první a druhé proměnné je statisticky odlišná od nuly [23].

### **Nezávislost prvků výběru**

Nezávislostí dat se rozumí, že prvky analyzovaného výběru nejsou spojeny žádným skrytým vztahem, byly získány nezávisle, bez ovlivnění přístrojem a postupem odběru dat.

Závislost měření obvykle způsobuje:

- nestabilita měřícího zařízení, nebo změna stavu tohoto zařízení
- nekonstantní podmínky měření
- zanedbání faktorů, které významně ovlivňují výsledek měření (např. teplota, ...)
- nesprávný nenáhodný výběr vzorků [13]

## Normalita

Normalita výběrového rozptylu patří k základním předpokladům, jelikož je na ní založena klasická analýza dat, testování vybočujících měření a testy nezávislosti prvků výběru.

Když není normalita dat prokázána, je nutné hlouběji analyzovat data [13].

## Homogenita

Homogenní výběr znamená, že všechny jeho prvky pocházejí ze stejného rozdělení s konstantním rozptylem. K nehomogenitě dochází všude tam, kde se vyskytuje výrazná nestejnoměrnost vlastností vzorků, mění se náhle podmínky experimentu a data obsahují vybočující měření. Vybočující měření silně zkreslují odhady polohy a zejména rozptylu. Nevyhovující data lze identifikovat z grafu průzkumové analýzy, ve kterých se výrazně liší od ostatních [13].

K vyhodnocení a zpracování dat byly použity tyto statistické parametry. Data byla vyhodnocena pomocí programu Microsoft Office Excel a QC – Expert:

## Aritmetický průměr statistického souboru

Je definován jako součet všech hodnot znaku dělený jejich počtem[14].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (39)$$

kde:  $\bar{x}$  ...průměrná hodnota

$n$ ...rozsah souboru

$i$ ...pořadí měření

$x_i$ ...naměřené hodnoty v  $i$ -tém měření

## Rozptyl statistického souboru

Rozptyl ukazuje odchýlení naměřených hodnot od průměrné hodnoty a je definován jako součet kvadratických odchylek od průměru děleny rozsahem výběru zmenšeným o 1 [14].

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (40)$$

kde:  $s^2$ ...rozptyl

### **Směrodatná odchylka statistického souboru**

Je definována jako odmocnina z rozptylu, používá se pro charakterizování variability[14].

$$s = \pm \sqrt{s^2} \quad (41)$$

kde:  $s$ ...směrodatná odchylka

### **Výběrový variační koeficient**

Je definován jako podíl směrodatné odchylky od průměru, slouží k měření relativní variability[14].

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (42)$$

kde:  $v$ ...variační koeficient

### **95% Interval spolehlivosti**

95% *IS* udává rozpětí, do kterého by testovaná střední hodnota opět padla s 95% jistotou, jestliže by zkouška byla prováděna se stejnými vzorky a za stejných podmínek [14].

$$IS (n < 40): \quad IS = \bar{x} \pm t_{0,05}(n-1) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (43)$$

$$IS (n > 40): \quad IS = \bar{x} \pm 1,96 \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (44)$$

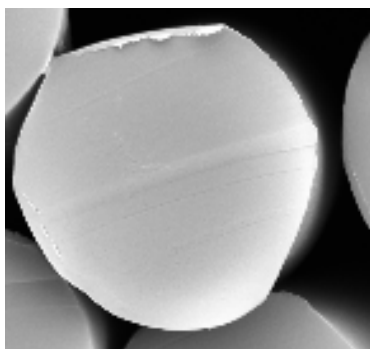
$t_{0,05}(n-1)$ ...hodnota Studentova rozdělení

Pro výrobu vzorků a následné zkoušky byl použit lesklý, netvarovaný PA 6 o jemnosti 1870 dtex (jemnost garantovaná výrobcem).

## 2.9 Polyamidové vlákno - PA 6

Z mnoha druhů se při výrobě vlákna uplatnily v širším měřítku jen dva typy. Výchozím materiálem pro oba druhy je ropa, z které vznikají chemickým procesem základní suroviny:

- u typu PA 6 kaprolaktan a
- u typu PA 66 tzv. AH sůl



*Obr. 20: řez PA vláknem*

Polyamidová vlákna se vyrábějí ve tvaru monofilového, polyfilového hedvábí, nebo jako stříž. Vlákna mohou být hladká, profilovaná, lesklá, matovaná, nebo barvená ve hmotě.

### Technické parametry

Jediný větší rozdíl ve vlastnostech obou základních typů je, že PA 66 měkne a taví se při vyšších teplotách než PA 6.

- teplota měknutí: 170 – 235 °C
- teplota tání: 215 – 260 °C
- vynikající odolnost vůči oděru

Polyamidy jsou velmi pružné a mají vysokou pevnost v tahu a v oděru. Nepatrné přijímání vlhkosti způsobuje, že výrobky z polyamidu se nesrážejí, za mokra ztrácejí poměrně málo pevnosti a rychle schnou. Polyamid přijímá takřka

všechny druhy textilních barviv. Jeho nevýhodou je malá odolnost vůči světlu a povětrnostním vlivům (žloutnutí) a lehké nabíjení statickou elektřinou [21].



### 3 Experimentální část

Jak je patrné z rešeršní části, následující kapitola se bude zabývat měřením geometrických parametrů šňůry, jako je průměr  $d$ , úhel  $\alpha$  a vzdálenost propletů  $x$  a jejich změnou v závislosti na tahovém namáhání. Dalším krokem bude porovnávání výsledné naměřené tažnosti šňůry s výpočtem dle modelu zpracovaného v rešeršní části (dle vztahu 34, viz Teoretická část, kapitola 2.7.2) a zkoumání vztahu mezi Poissonovým poměrem a výslednou vypočtenou tažností.

První část experimentální kapitoly je věnovaná charakteristice použitého materiálu a výrobě šňůry s různými úhly křížení  $\alpha$ . Následuje měření geometrických parametrů a tahových křivek a poslední kapitolou je zpracování výsledků.

#### 3.1 Výroba šňůry

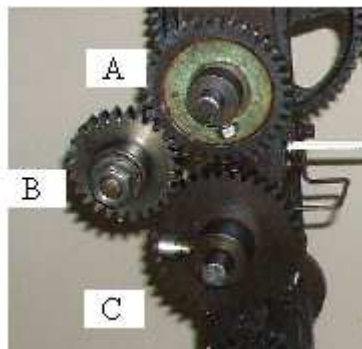
Všechny vzorky byly zhotoveny v laboratořích katedry textilních technologií. Výroba probíhala na dvouhlavém dutinovém splétacím stroji (viz Teoretická část, kapitola 2.2.1) se šestnácti paličkami pro každou hlavu, jak je patrné na obr.21.



*Obr. 21: dvouhlavý dutinový splétací stroj*

Různých hustot splétání šňůr, úhlů  $\alpha$  a vzdálenosti jednotlivých křížení propletů  $x$  bylo dosaženo změnou odváděcí rychlosti, respektive odtahu na dvouhlavém dutinovém splétacím stroji. Regulace odtahové rychlosti na

dvouhavlém dutinovém splétacím stroji je možná pomocí různých kombinací ozubených kol viz obr. 22. Konstrukce stroje umožňuje výměnu pouze ozubených kol A a C.



Obr. 22: ozubená kola dvouhavlého dutinového stroje

Značení jednotlivých šňůr, převody ozubených kol, hustoty splétání (viz Teoretická část, kapitola 2.4.1) a odpovídající úhel  $\alpha$  (viz Teoretická část – kapitola 2.4.1 a Experimentální část - kapitola 3.3.3) jsou znázorněny v tab. 1. Všechny hodnoty byly měřeny při relaxovaném stavu šňůry za standardních klimatických podmínek.

Tab.1: hustota splétání, převody ozubených kol a značení šňůr

Označení	Převod A / B / C	Odpovídající úhel $\alpha/2[^\circ]$	Hustota splétání [cm <sup>-1</sup> ]
I	19 / 26 / 39	37	6,5
II	19 / 26 / 36	36	6
III	24 / 26 / 35	27,5	5
IV	28 / 26 / 36	25	4
V	35 / 26 / 36	18,5	3,5

### 3.2 Měření parametrů a vlastností pramene a šňůry

#### Jemnost pramene

Jemnost pramene byla zjištěna pomocí vijáku a laboratorních vah Autosorter dle ČSN EN ISO 2060 (80 25 02) [11] (viz Teoretická část, kapitola

2.4.1). Na vijáku byly navinuty prameny o délce  $l = 100$  m, které se následně zvažily na laboratorních vahách. Bylo provedeno 10 měření. Naměřené hodnoty a jejich statistické zpracování je uvedeno v tab. 2.

#### Jemnost šňůry

Jemnost šňůry byla zjištěna gravimetrickou metodou dle ČSN 80 0890 (viz Teoretická část, kapitola 2.4.1). Bylo odebráno vždy 10 vzorků o délce 1 m a následně zváženo na laboratorních vahách. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze (A). V tab. 2 je uvedeno statistické zpracování jemnosti pramene a šňůry.

*Tab.2: jemnosti pramene a šňůry dle vztahu (2) (viz Teoretická část)*

	<b>T[tex]</b>
<b>Pramen</b>	
<b>PA 6</b>	190,82
<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	<189,74; 191,9 >
<b>Šňůra</b>	
<b>I</b>	3587,00
<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	<3562,18;3585,83>
<b>II</b>	3574,00
<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	<3569,24; 3604,76 >
<b>III</b>	3365,00
<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	<3356,57; 3373,43>
<b>IV</b>	3300,00
<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	<3284,57; 3315,43>
<b>V</b>	3234,00
<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	<3222,18; 3245,83>

#### 3.2.1 Měření pevnosti a tažnosti pramene

Měření mechanických vlastností pramene bylo prováděno na přístroji Testometric za standardních klimatických podmínek (viz Teoretická část, kapitola 2.4.2). Před začátkem měření bylo třeba zadat upínací délku, rychlost a předpětí

pramene dle ČSN 80 0700, jak je uvedeno níže. Při měření pevnosti a tažnosti pramene bylo provedeno 50 měření. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3, ostatní data jsou uvedena v příloze (B).

*Tabulka č. 3: Naměřené hodnoty pramene*

<b>PA 6</b>	
<b>Pevnost [N]</b>	140,03 <137,96; 142,1>
<b>Tažnost [%]</b>	18,5 <18,19; 18,81>

#### Nastavení přístroje Testometric při trhání pramene

Upínací délka pramene – 500 mm

Předpětí pramene – 0,955 N

Rychlost – 300 mm/min

#### 3.2.2 Měření pevnosti a tažnosti šňůry

Měření bylo provedeno opět na trhacím přístroji Testometric za standardních klimatických podmínek (viz Teoretická část, kapitola 2.4.2). Bylo třeba nastavit upínací délku šňůry, předpětí šňůry a rychlost (viz níže) dle ČSN 80 0890. Výsledné hodnoty pevnosti, tažnosti, prodloužení a jejich statistické zpracování jsou uvedeny v příloze (C).

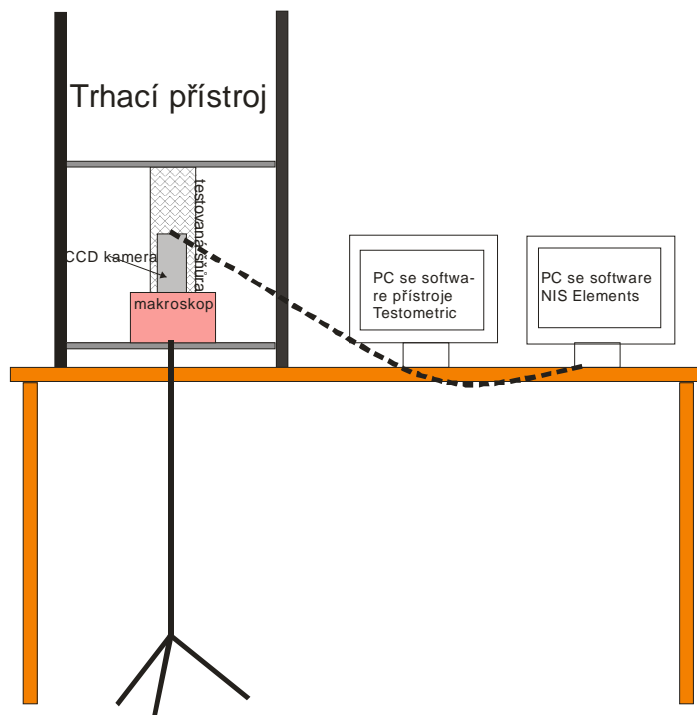
#### Nastavení přístroje Testometric:

Upínací délka šňůry – 500 mm

Předpětí šňůry – 0,955 N

Rychlost – 10 mm/min

Během procesu trhání byl vzorek snímán makroskopem a CCD kamerou, které byly umístěny před zkoušený vzorek, viz obr. 23. Kamera byla připojena k notebooku s nainstalovaným software NIS Elements [19] (viz Teoretická část, kapitola 2.7.3).



Obr.23: Testovací sestava – trhací přístroj, makroskop, CCD kamera a PC s jednotlivými softwary [19]

Obraz měnící se struktury šňůry byl snímán každou 1 sekundu speciálním makrem vytvořeným v programu NIS Elements. Ve stejném čase software přístroje Testometric zaznamenával data a křivky deformace šňůry. Výsledná data prodloužení a tahového namáhání z přístroje Testometric byla zpracována v programu Matlab [19]. Hodnoty prodloužení, tahového namáhání a odpovídající obrazy měnící se struktury šňůry byly vybrány po 1 a 10 sekundách (viz níže).

### 3.2.3 Měření úhlu $\alpha$ , velikosti kosočtverečné jednotky $x$ a průměru $d$

Data a snímky šňůry získané při měření tahových křivek byly dále zpracovány v programu NIS Elements. V tomto programu probíhalo měření průměru  $d$ , velikosti úhlů  $\alpha$  a velikosti kosočtverečných jednotek  $x$  jednotlivých šňůr. Postup práce s obrazovou analýzou je uveden v Teoretické části, kapitola 2.7.3.

Výběr hodnot při měření průměru byl vždy po 1 sekundě. Při měření úhlu  $\alpha$  (tedy úhlu, který mezi sebou svírají dva protisměrně uložené prameny, viz Teoretická část, kapitola 2.4.1) a velikosti kosočtverečné jednotky  $x$  (neboli vzdálenost jednoho křížení propleťů, viz Teoretická část, kapitola 2.7.1) byly zpracovány snímky vždy po deseti sekundách. Na každém desátém snímku byly naměřeny vždy jejich tři hodnoty. Dále byla naměřená data zpracována v

programu QC Expert. V tomto programu byla použita funkce *Základní statistika* (viz Teoretická část, kapitola 2.5.4). Průměrné hodnoty průměru  $d$ , úhlu  $\alpha$  a vzdálenost křížení  $x$  v relaxovaném stavu jsou uvedeny v tabulce 4, všechna naměřená data jsou uvedena v příloze (D).

*Tab. 4 : Průměrné hodnoty průměru  $d$ , vzdálenosti křížení  $x$  a úhlu  $\alpha$  v relaxovaném stavu*

Šňůra	$d$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\alpha$ [ $^\circ$ ]
I <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	3638,95 <3511,55; 3766,36>	1766,29 <1704,02; 1828,56>	74,09 <71,08; 77,09>
II <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	3714,33 <3635,99; 3792,66>	1737,44 <1665,05; 1809,83>	71,8 <67,51; 76,09>
III <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	3661,79 <3525,607; 3797,973>	2177,71 <2121,91; 2233,51>	54,61 <51,83; 57,39>
IV <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	3564,55 <3407,89; 3721,21>	2484,06 <2398,68; 2569,44>	57,28 <55,57; 58,99>
V <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	3558,07 <3314,19; 3801,94>	3014,75 <2941,16; 3088,33>	37,88 <36,07; 39,68>

V tabulce 5 jsou uvedena průměrná naměřená data průměru  $d$ , vzdálenosti křížení  $x$  a velikost úhlu  $\alpha$  v maximálně zatíženém stavu. V tomto stavu ve šňůře dochází k přeorientaci pramenů ve směru zatížení a následnému prodloužení šňůry. Tyto změny také způsobují redukci průměru šňůry. Je-li struktura plně fixována (zmenšování průměru je téměř zanedbatelné) dochází k přetrhu jednotlivých pramenů a tedy k přetrhu šňůry.

*Tab. 5 : Průměrné hodnoty průměru  $d$ , vzdálenosti křížení  $x$  a úhlu  $\alpha$  v maximálně zatíženém stavu*

Šňůra	$d$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\alpha$ [ $^\circ$ ]
I	2862,44 <2559,84;	2014,56 <1969,27;	48,27 <45,26; 51,28>

<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	3165,04>	2059,85>	
II <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	2448,76 <2378,26; 2519,25>	2177,04 <1932,04; 2422,04>	41,88 <40,43; 43,32>
III <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	2649,28 <2251,13; 3047,43>	2404,71 <2342,44; 2466,97>	31,65 <25,28; 38,01>
IV <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	2725,84 <2381,18; 3070,49>	2623,61 <2534,52; 2712,69>	27,08 <19,11; 35,04>
V <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	2746,22 <2485,56; 3006,88>	3192,09 <3090,19; 3293,98>	27,54 <26,13; 28,94>

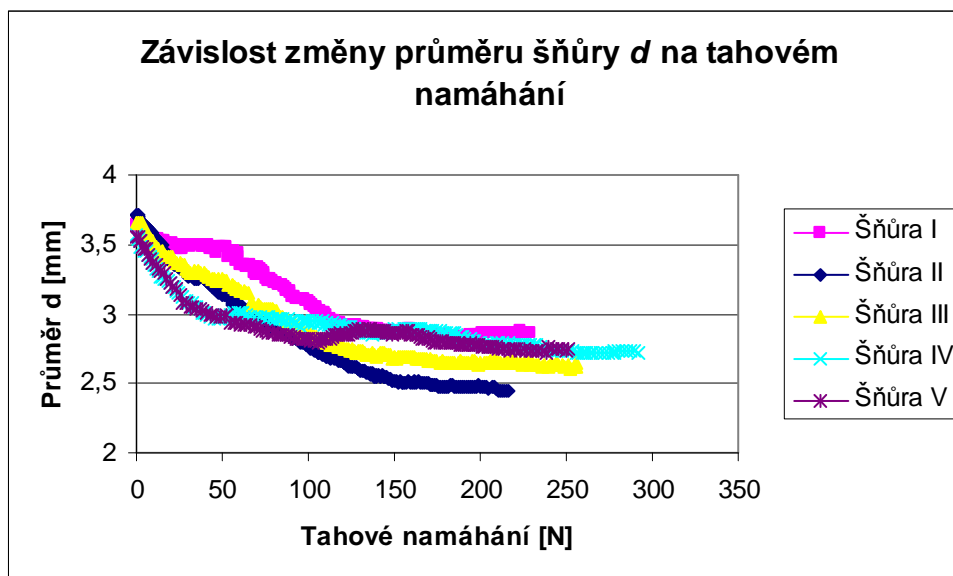
### 3.3 Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené a následně zpracované hodnoty průměru  $d$  (viz Teoretická část, kapitola 2.5), úhlu  $\alpha$  (úhel křížení pramenů šňůry, viz Teoretická část, kapitola 2.5 a 2.8.3), vzdálenost křížení pramenů  $x$  (viz Teoretická část, kapitola 2.5 a 2.8.3) a odpovídající tahové křivky byly použity v následující kapitole. Jednotlivé geometrické vlastnosti a jejich změny byly zkoumány v závislosti na tahovém namáhání.

Splétané útvary nemají výsledné křivky lineární. Při malých zatížení, prochází splétané struktury geometrickými změnami. Při vyšším zatížení se začnou objevovat změny ve zvlnění příze, které způsobují redukci průměru šňůry a dochází k prodloužení šňůry ve směru namáhání. V průběhu tahového namáhání dochází i ke změnám úhlu křížení  $\alpha$  a vzdálenosti křížení  $x$ . Úhel křížení pramenů se při vyšším tahovém namáhání zmenšuje, dochází ke změnám ve zvlnění příze. Vzdálenost křížení pramenů se vlivem tahového napětí ve směru osy šňůry zvětšuje.

Následně byla porovnána modelová tažnost šňůry spočtená dle vztahu (35) (viz Teoretická část, kapitola 2.7.2, str. 26) s průměrnou naměřenou tažností a porovnání tažnosti modelové (spočtené) a experimentální s použitím korekční konstanty v závislosti na počátečním úhlu  $\alpha$ . V poslední části této kapitoly byl zkoumán vliv Poissonova poměru (viz Teoretická část, kapitola 2.6.3) na výslednou vypočtenou tažnost šňůry a sledována lineární míra závislosti mezi experimentální a modelovou tažností.

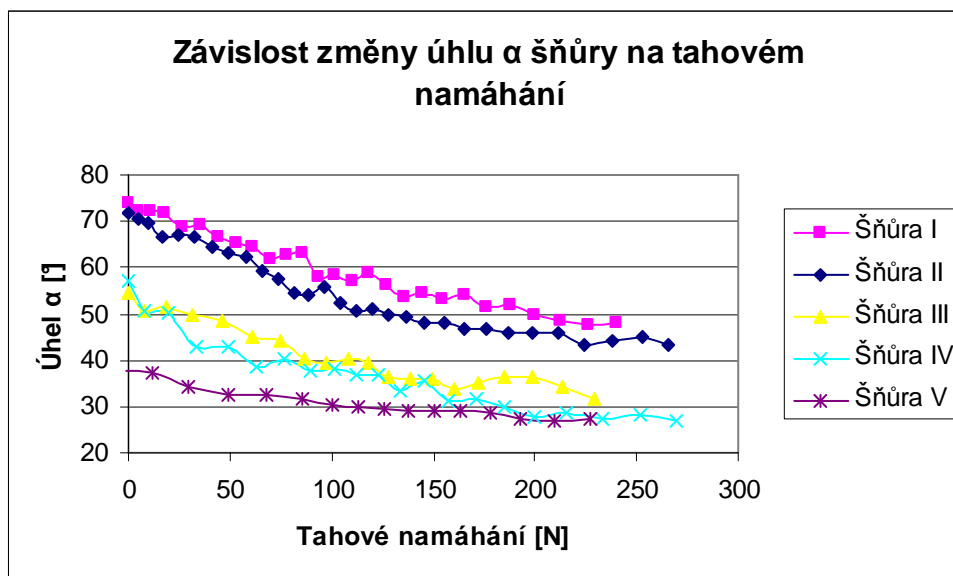




Obr.24: Závislost změny průměru šňůry na tahového namáhání

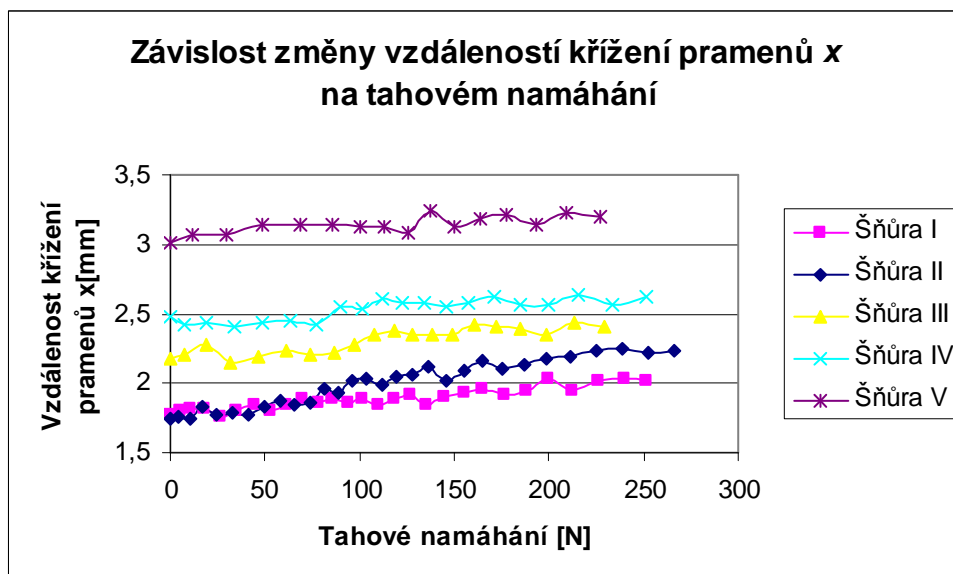
Na obr. 24 je patrné, že při namáhání šňůry v axiálním směru dochází k změně průměru šňůry. Průměry šňůry v relaxovaném stavu jsou téměř totožné. Dochází k přeskupování vnitřního uspořádání pramenů ve šňůře a k redukci průměru šňůry se zvyšujícím se tahovým namáháním. Zmenšování průměrů jednotlivých šňůr při tahovém namáhání dle předpokladů odpovídá teorii (viz Teoretická část, kapitola 2.6.2). U šňůry V dochází v průběhu tahového namáhání k nárůstu průměru (kolem hodnoty 135 N). Při upnutí pramene do čelistí trhačích přístroje dochází k deformaci průměru šňůry, respektive k jejímu zploštění. Během tahového namáhání dochází částečnému stáčení šňůry kolem její osy. Tyto aspekty mohou být důvodem nárůstu průměru u šňůry V. V okamžiku maximálního zafixování vazných bodů, kdy zmenšování průměru šňůry je téměř zanedbatelné, dochází k přetrhu šňůry. Křivky na obr. 24 jsou znázorněny do okamžiku přetrhu jednotlivých šňůr.

Na obr. 24 jsou znázorněny šňůry s různým úhlem křížení pramenů  $\alpha$ . Šňůry jsou značeny od největšího úhlu (šňůra I) po nejmenší úhel (šňůra V), značení jednotlivých šňůr a odpovídající úhel křížení pramenů  $\alpha$  je uvedeno v tabulce 1 (viz str. 35). Je patrné, že jednotlivé úhly stoupání pramenů ve šňůře mají vliv na průměr šňůry a výsledné tahové namáhání.



Obr.25: Závislost změny úhlu  $\alpha$  na tahovém namáhání

Obr. 25 znázorňuje závislost tahového namáhání na úhlu křížení pramenů  $\alpha$ . Při zvyšujícím se tahovém namáhání dochází ke snižování úhlu křížení pramenů ve šňůře  $\alpha$ . Největší úhel  $\alpha$  v relaxovaném stavu byl zjištěn u šňůry I a II (viz Experimentální část, tabulka 1).



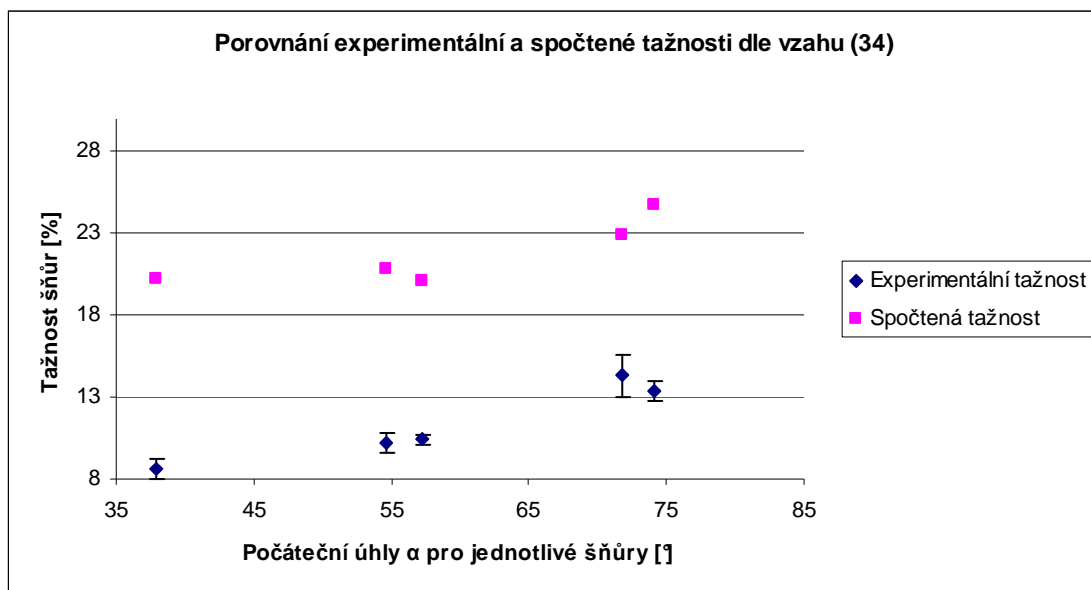
Obr.26: Závislost velikosti kosočtverčné jednotky  $x$  na tahovém namáhání

Z obr.26 je patrná závislost velikosti kosočtverčné jednotky  $x$  (vzdálenosti propleťů) na tahovém namáhání. Se zvyšujícím se tahovým napětím se zvětšuje i vzdálenost jednotlivých křížení pramenů šňůry. Během tahového namáhání dochází k přeorientaci pramenů ve směru zatížení šňůry a tedy ke zvětšování vzdálenosti jednotlivých křížení pramenů šňůry. Největší vzdálenost křížení pramenů je patrná u šňůry V, tedy šňůry s nejnižší hustotou splétání.

Při zkoumání struktury šňůry a její strukturní jednotky v rešersní části bylo zjištěno, že znám-li některé základní parametry šňůry (jako je úhel křížení pramenů  $\alpha$  a vzdálenost křížení pramenů  $x$ ), je možné dle vztahu (35) (viz Teoretická část, kapitola 2.7.2, str.26) spočítat teoretickou tažnost šňůry. V tabulce 6 jsou uvedeny výsledky naměřené tažnosti a odpovídající spočtené hodnoty dle vztahu (35) (viz Teoretická část, kapitola 2.7.2, str.26) pro jednotlivé šňůry I až V.

*Tab. 6: Naměřená a spočtená tažnost při nejvyšší pevnosti*

<b>Šňůra</b>	<b>Průměrná naměřená tažnost [%]</b>	<b>Spočtená tažnost [%] viz vztah (35)</b>
I <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	13,42 <12,82; 14,02>	24,69
II <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	14,32 <13,06; 15,57>	22,88
III <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	10,22 <9,61; 10,82>	20,82
IV <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	10,42 <10,11; 10,73>	20,16
V <IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >	8,65 <8,03; 9,27>	20,22



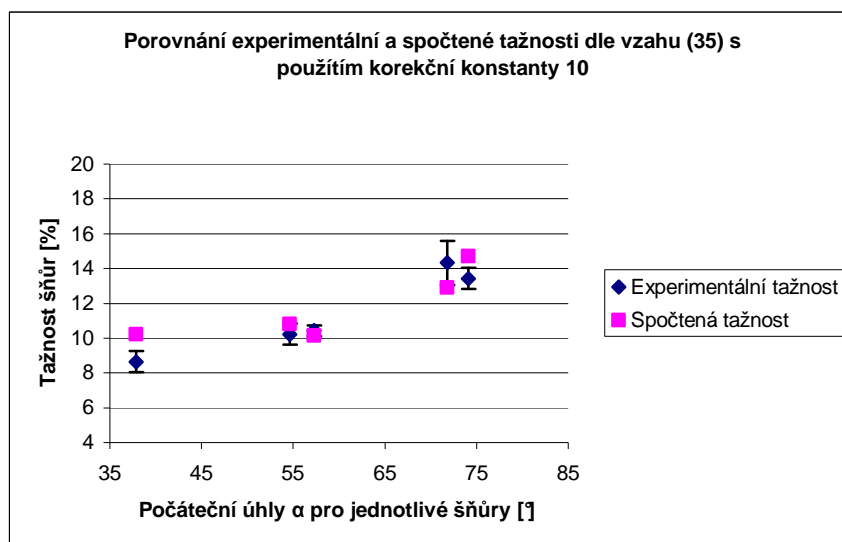
Obr. 27: Porovnání spočtené a naměřené tažnosti v závislosti na počátečním úhlu křížení pramenů  $\alpha$  [%]

Obr. 27 znázorňuje průměrnou tažnost naměřenou a odpovídající tažnost spočtenou dle vztahu (35) (viz Teoretická část, kapitola 2.7.2, str.26) v závislosti na počátečním úhlu  $\alpha$ . Z obr.27 je patrné, že naměřená tažnost se snižujícím se úhlem stoupání pramenů  $\alpha$  (tedy zvyšujícím se vzdáleností křížení  $x$ ) klesá. Při zatěžování šňůry dochází k přeorientaci vnitřní struktury ve směru zatěžování, dochází ke změnám ve zvlnění pramene, redukci průměru šňůry, klesání úhlu křížení pramenů  $\alpha$  a prodlužování šňůry.

Jak je z obr.27 patrné, rozdíl mezi experimentální a spočtenou tažností je téměř konstantní. Proto byla použita korekční konstanta 10. Korekční konstanta byla vypočtená odečtením spočtené a experimentální tažnosti. Z výsledných hodnot byl vypočten průměr a dle něj zvolena korekční konstanta. Tato hodnota byla následně odečtena od jednotlivých spočtených tažností.

Zvolenou konstantu lze použít pro daný materiál a úhly stoupání pro tento konkrétní případ. Při použití jiného materiálu a jiných úhlů stoupání bude pravděpodobně nutné opět zvolit korekční konstantu vhodnou pro daný případ.

Bylo by vhodné problematiku korekční konstanty ověřit v dalších bakalářských, popřípadě diplomových pracích pro podobné materiály, hodnoty hustot a úhly křížení pramenů, aby se definovala její platnost.



Obr.28: Porovnání experimentální a spočtené tažnosti s použitím korekční konstanty

Na obr.28 je znázorněno porovnání teoretické a experimentální tažnosti s použitím odpovídající korekční konstanty, v tomto případě 10. Při porovnání dvou výběrů dat (párové porovnání) v programu QC-Expert (viz Teoretická část, kapitola 2.7.3) bylo zjištěno, že rozdíly jsou statisticky nevýznamné.

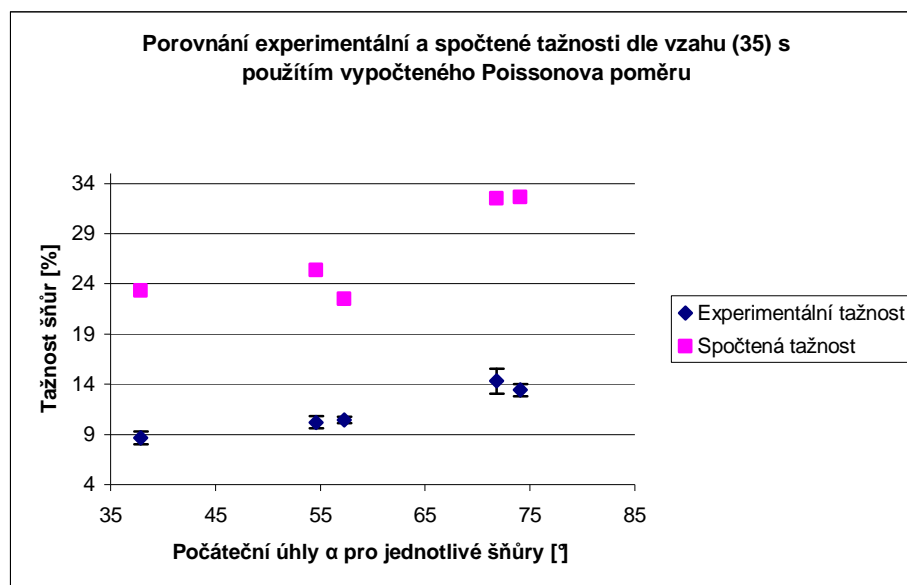
Důvodem neodpovídající spočtené tažnosti mohl být nevhodně zvolený Poissonův poměr. Jak bylo popsáno v teorii (kapitola 2.6.3) Poissonův poměr je zpravidla v rozmezí 0,0 až 0,5.

Jak je patrné v tabulce 7, výsledný vypočtený Poissonův poměr neodpovídá teorii a pro šňůru se pohybuje v rozmezí 1,5 až 2,6 pro různé úhly stoupání pramenů ve šňůře  $\alpha$ . Znamená to, že prodloužení šňůry v axiálním směru  $\epsilon_a$  je až 2,6 krát větší než zkrácení ve směru transverzálním  $\epsilon_t$ . Může to být způsobeno délkovým uspořádáním šňůry, jedná se o dutinu, v níž není jádro. Díky tomuto uspořádání dochází k větší redukci průměru šňůry při tahovém namáhání, než je patrné u plošné textilie.

Tab. 7: Prodloužení šňůry v transverzálním a axiálním směru a odpovídající Poissonův poměr

Šňůra	$\epsilon_t$ [%]	$\epsilon_a$ [%]	$\nu$ [1]
I	- 21,34	13,42	1,59
II	- 34,07	14,32	2,38
III	- 27	10,22	2,64

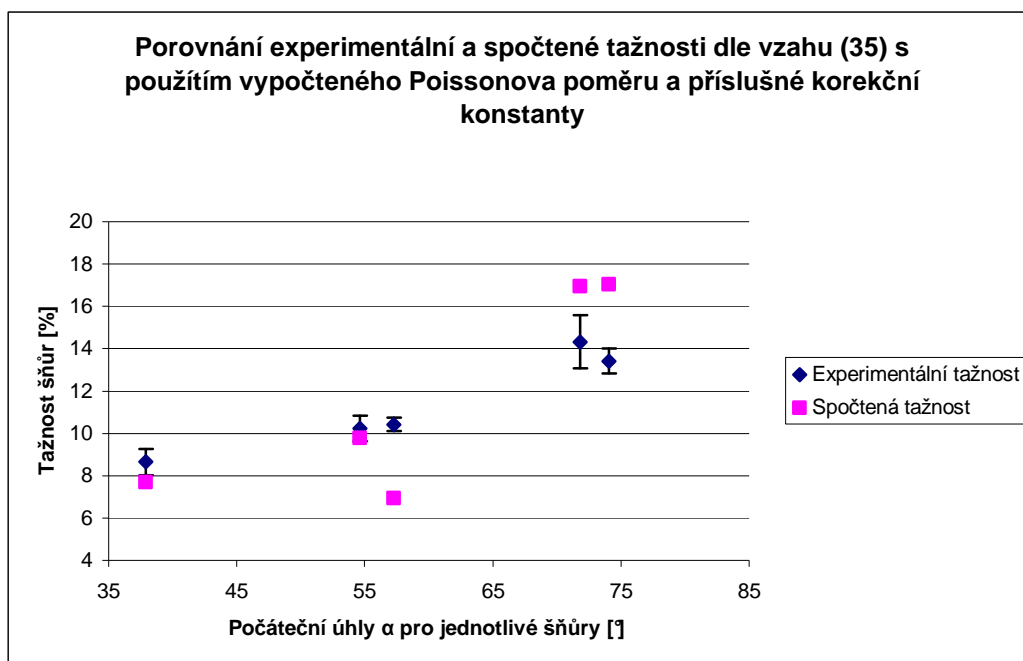
IV	- 23,55	10,42	2,26
V	- 22,8	8,65	2,64



Obr. 29: Porovnání experimentální a spočtené tažnosti s použitím vypočteného Poissonova poměru

Z obr.29 je patrná závislost experimentální a modelové tažnosti šňůry s použitím spočteného Poissonova poměru pro jednotlivé šňůry. Jednotlivé vypočtené tažnosti opět neodpovídají výsledné experimentální tažnosti šňůry. Model, ze kterého jsem vycházela, nebere v úvahu tření materiálu (viz Teoretická část, kapitola 2.6). Brunnschweiller [5] předpokládal, že prameny ve šňůře jsou dokonale hladké "válce". Důvodem neodpovídající výsledné tažnosti by tedy mohl být vliv tření materiálu nezahrnutý v konečné rovnici.

Lze opět konstatovat, že rozdíl experimentální a spočtené tažnosti je téměř konstantní, proto byla opět použita korekční konstanta (v tomto případě 15,6, postup výpočtu je uveden výše) vhodná pro tento případ.

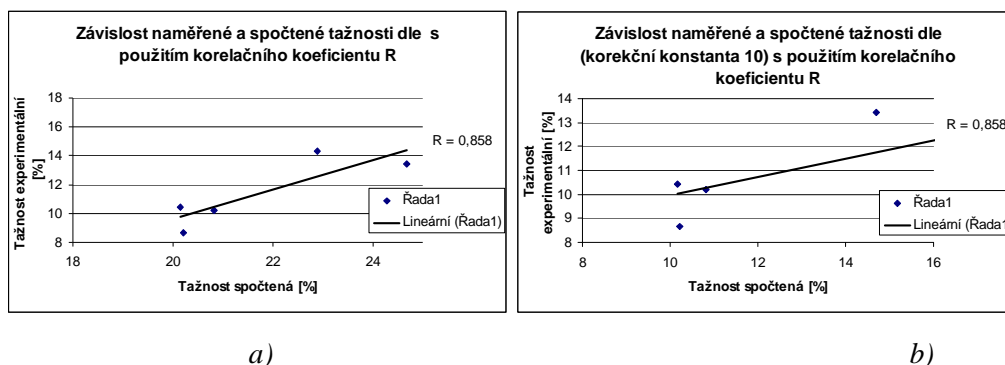


*Obr.30: Porovnání experimentální a spočtené tažnosti s použitím vypočteného Poissonova poměru s použitím odpovídající korekční konstanty*

Z obr.30 je patrné, že při použití korekční konstanty ( v tomto případě 15,6) se spočtená tažnost blíží experimentální tažnosti šňůry. Data byla zpracována v programu QC-Expert. Byla použita funkce Porovnání dvou výběrů - párové porovnání (viz Teoretická část, kapitola 2.6.3). Bylo zjištěno, že rozdíly jsou statisticky nevýznamné jako v případě obr. 28.

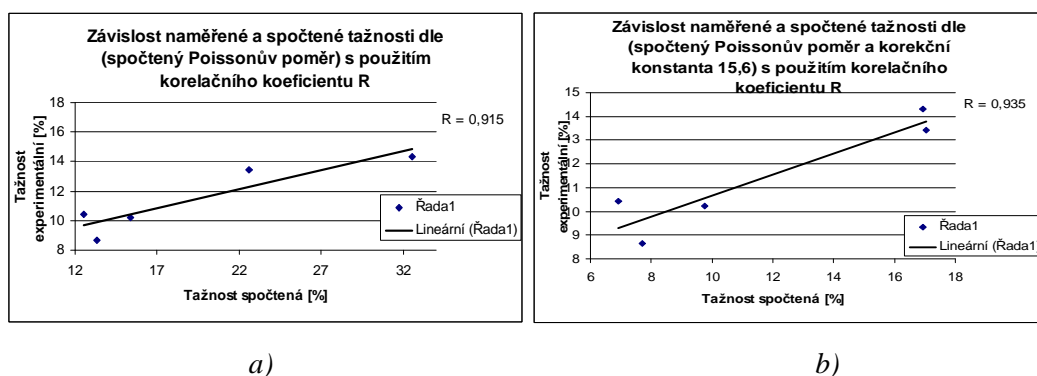
V následující části diplomové práce byla sledována závislost mezi naměřenou a spočtenou tažností (dle vztahu (35), viz Teoretická část, kapitola 2.7.2, str.26). Daty byla proložena lineární spojnice trendu a byla sledována výsledná hodnota korelačního koeficientu  $R$ .

Korelace značí vzájemný vztah mezi dvěma procesy, nebo veličinami. Pokud se mezi dvěma procesy ukáže korelace, je pravděpodobné, že na sobě závisejí. Korelační koeficient nabývá hodnot od -1 do 1. Blíží-li se korelační koeficient k 1 (-1) značí zcela přímou závislost. Pokud je korelační koeficient 0, pak mezi daty není žádná statistická lineární závislost [24].



Obr. 31: Závislost naměřené a spočtené tažnosti s použitím korelačního koeficientu R

Jak je patrné z obr.31, korelační koeficient R v případě použití konstantního Poissonova poměru vychází pro oba případy totožně. Data jsou pouze posunuta po y-nové ose o korekční konstantu a korelační koeficient je tedy totožný pro oba případy. Hodnota korelačního koeficientu je v tomto případě 0,858, což značí určitou míru lineární závislosti dat.



Obr. 32: Závislost naměřené a spočtené tažnosti s použitím korelačního koeficientu R

Z obr.32 je patrné, že při použití spočteného Poissonova poměru (viz Teoretická část, kapitola 2.7.3) jsou hodnoty korelačního koeficientu rozdílné. Při použití pouze spočteného Poissonova poměru je hodnota korelačního koeficientu rovna 0,915. V případě 32 b) byla použita odpovídající korekční konstanta (v tomto případě 15,6) a hodnota korelačního koeficientu je rovna 0,935. Lze tedy konstatovat, že při použití spočteného Poissonova poměru je míra lineární závislosti mezi daty vyšší, než v případě použití konstantního Poissonova poměru (dle Brunnchweillera [5]). Nejvyšší míra závislosti mezi daty je patrná na obr. 32 b), tedy při použití spočteného Poissonova poměru a odpovídající korekční konstanty (15,6).



## 4. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo studium vlastností splétaných útvarů bez jádra se zaměřením na jejich tažnost. Následoval popis základní strukturální jednotky šňůry a sledování změn geometrických parametrů během tahového namáhání a hledání vhodného modelu tahového namáhání pro šňůry s různým úhlem křížení pramenů  $\alpha$ .

Pro experiment byly použity šňůry vytvořené v laboratoři KTT. Při výrobě šňůry byl použit materiál 100% PA6 o jemnosti 190 tex. Různých úhlů křížení pramenů bylo docíleno změnou odváděcí rychlosti stroje pomocí záměny ozubených kol na dvouhlavém dutinovém splétacím stroji.

U pramene a jednotlivých šňůr byla zjištěna jemnost. Data pro získání jednotlivých geometrických parametrů (průměru šňůry  $d$ , velikosti křížení pramenů  $x$  šňůry a úhly křížení pramenů  $\alpha$  šňůry) byly měřeny současně s tahovými křivkami. Při trhání na přístroji Testometric byl vzorek snímán kamerou ve stejném čase a následně byla data zpracována v programu NIS Elements. Z dat byly získány hodnoty průměru, úhlu křížení pramenů a velikosti křížení pramenů šňůry. Na základě těchto dat byla konstruována závislost jednotlivých geometrických parametrů na tahovém namáhání.

Dále byl v experimentální části ověřován teoretický model tahového namáhání při různých úhlech stoupání šňůry. Zvolený model tahového namáhání nezahrnuje vliv tření ve šňůře. Výsledná teoretická tažnost byla porovnána s experimentální tažností jednotlivých šňůr, při použití konstantního Poissonova poměru pro pramen i šňůru dle Brunnchweillera [5] v závislosti na počátečním úhlu křížení pramenů  $\alpha$ .

Porovná-li výsledné spočtené hodnoty tažnosti s výsledky měření dle teorie[5], v níž byly zkoumány nižší úhly stoupání než v mé diplomové práci, konečné výsledky tažnosti dle Brunnchweillera [5] se lišily v rozmezí 10 - 27 %. V mém případě byl rozdíl přibližně 10 % pro všechny šňůry.

Z naměřených a zpracovaných dat byl spočten odpovídající Poissonův poměr pro šňůru a výsledná tažnost porovnána s teoretickou tažností opět v závislosti na počátečním úhlu křížení pramenů  $\alpha$ .

Rozdíl teoretické a modelové tažnosti byl v obou případech téměř konstantní, proto byla zvolena korekční konstanta. Při použití konstantního Poissonova

poměru byla hodnota korekční konstanty 10. Použitím spočteného Poissonova poměru korekční konstanta odpovídala hodnotě 15,6. Při použití korekční konstanty se hodnota teoretické tažnosti blíží tažnosti experimentální. Při porovnání dvou výběrů (párovém porovnání) dat modelových a experimentálních tažností v programu QC-Expert bylo zjištěno, že rozdíly jsou statisticky nevýznamné.

V závěrečné části experimentu byla zjišťována lineární míra závislosti mezi teoretickou a experimentální výslednou tažností. Byly porovnány výsledné hodnoty korelačního koeficientu dané pro čtyři konkrétní případy:

- závislost teoretické a modelové tažnosti při použití konstantního Poissonova poměru pro pramen i šňůru (viz obr.31 a))
- závislost teoretické a modelové tažnosti s použitím konstantního Poissonova poměru pro pramen i šňůru a odpovídající korekční konstantou 10 (viz obr.31 b))
- závislost teoretické a modelové tažnosti s použitím spočteného Poissonova poměru pro šňůru (viz obr.32 a))
- - závislost teoretické a modelové tažnosti s použitím spočteného Poissonova poměru pro pramen i šňůru a odpovídající korekční konstantou 15,6 (viz obr.32 b)).

Ze zjištěných korelačních koeficientů vyplývá, že lineární míra závislosti mezi teoretickou a experimentální tažností je patrná ve všech případech. Nejvyšší lineární míra závislosti je při použití spočteného Poissonova poměru pro šňůru a odpovídající korekční konstantě 15,6 (viz obr.32 b)).

Zkoumaný model tahového namáhání (vztah (35), viz Teoretická část, kapitola 2.7.2) dle [5] nezahrnuje při výpočtu tažnosti vliv tření šňůry a předpokládá, že šňůra je složena z homogenních pramenů. Tento předpoklad je patrný při výsledném porovnání experimentální tažnosti (viz obr. 27, 28, 29, 30). Jednotlivé hodnoty teoretické tažnosti neodpovídají přesně experimentálně zjištěné tažnosti. Při porovnání korelačních koeficientů se jako nejvhodnější jeví případ s použitím spočteného Poissonova poměru a odpovídající korekční konstantě.

V této problematice se lze dále zaměřit na vliv Poissonova poměru pro pramen, který byl v tomto případě konstantní dle [5] a hledání vhodného koeficientu tření pro zvolený model.

## Seznam literatury:

- [1] Pivoňková, D.: Vzorovací možnosti splétacího stroje, BP, TU v Liberci, 2006
- [2] Spisiaková, M.: Využití pevnosti vlákenného materiálu ve splétaném výrobku, BP, TU v Liberci, 2007
- [3] Daněk, V.: Speciální technologie a programování výroby, VŠST v Liberci, 1991
- [4] Historie splétání, dostupné z <http://www.kumihimo.cz/historie.php>, citováno 20.9.2009
- [5] Hristov, K., Armstrong-Carrol, E., Dunn, M., Pastore, Ch., Gowayed, Y.: Mechanical behavior of circular hybrid braids under tensile loads, TRJ, pg.20, 2004
- [6] Brunnschweiler, D.: Structure and tensile properties of braids, Textile Institute, 1954
- [7] Tsu-Wei Chou, Frank K. Ko: Textile structural composites, Amstrdam, Oxford, New York, Tokyo, 1989
- [8] Norma ČSN 80 0890 – Stuhařské a prýmkařské výrobky, metody zkoušení, 1979
- [9] Kovačič, V.: Textilní zkušebnictví, díl II, TU Liberec, 2004
- [10] Přednášky a návody na cvičení z předmětu Experimentální analýza struktury textilií, dostupné z <http://www.ft.tul.cz/depart/ktt/index.htm>, citováno 20.9.2009
- [11] ČSN EN ISO 2060 (80 25 02) Textilie – Zjišťování délkové hmotnosti pásovou metodou
- [12] Informace o Pivotační metodě, dostupné z <http://www.zeus.cz/Articles/7912-2-> citováno 2.10. 2009
- [13] Trnka, L.: Seskání skaných přízí, DP, TU v Liberci, 2009
- [14] Hanousek, J., Charanza, P.: Moderní metody zpracování dat – Matematická statistika pro každého, Praha, 1992
- [15] Informace o programu Matlab, dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/MATLAB>, citováno 2.10.2009
- [16] Informace o přístroji Testometric, dostupné z [http://www.labor-labor.cz/file\\_stroj/35\\_20.pdf](http://www.labor-labor.cz/file_stroj/35_20.pdf), citováno 2.10.2009

- [17] Informace o programu NIS Elements, dostupné z <http://www.ft.tul.cz/depart/ktt/index.htm>, citováno 2.10.2009
- [18] Kovačič, V.: Textilní zkušebnictví II, Liberec, 2004
- [19] Vyšanská, M.: Observing of textile structure changes during the straining, The Second International Proficiency Testiny Conference, Romania 2009
- [20] Přednášky z předmětu Speciální pletářské výroby, PhD. Ing. Lenfeldová dostupné z <https://skripta.ft.tul.cz/databaze>, citováno 30.11.2009
- [21] Militký, J.: Textilní vlákna, Liberec, 1995
- [22] Informace o Poissonovu poměru, dostupné z [www.vutbr.cz](http://www.vutbr.cz), citováno 29.11.2009
- [23] Informace o metodě Porovnání dvou výběrů - párové porovnání, čerpáno z manuálu k programu QC - Expert, citováno 7.12.2009
- [24] Informace o Korelačním koeficientu, dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Korelace>, citováno 8.12.2009

## **Přílohy**

Seznam příloh:

- A) Výsledné naměřené hodnoty jemnosti pramene a šňůry a jejich statistické zpracování**
- B) Výsledné naměřené hodnoty pevnosti a tažnosti pramene a jejich statistické zpracování**
- C) Výsledné naměřené hodnoty pevnosti a tažnosti šňůry a jejich statistické zpracování**
- D) Výsledné naměřené hodnoty úhlu  $\alpha$ , velikosti kosočtverečné jednotky  $x$  a průměru  $d$  šňůry v průběhu tahového namáhání a jejich statistické zpracování**

**A) Výsledné naměřené hodnoty jemnosti pramene a šňůry**

<b>Příze</b>											<b>T[ tex ]</b>
PA6(1870dte x)	188, 6	193, 1	192, 1	192, 6	192, 1	191, 4	189, 0	191, 6	189, 8	187, 9	<b>190,8</b>
<b>Šňůra</b>											
I	3580	3580	3570	3550	3550	3560	3580	3560	3600	3610	<b>3574</b>
II	3550	3550	3590	3620	3620	3590	3620	3570	3610	3550	<b>3587</b>
III	3370	3370	3340	3360	3370	3360	3380	3390	3350	3360	<b>3365</b>
IV	3350	3320	3310	3280	3250	3310	3290	3290	3300	3300	<b>3300</b>
V	3250	3230	3240	3230	3240	3200	3250	3260	3240	3200	<b>3234</b>

Statistické zpracování naměřených hodnot jemnosti pramene a šňůry

	<b>T[ tex ]</b>	<b>s</b>	<b>v</b>	<b>IS<sub>h</sub></b>	<b>IS<sub>d</sub></b>
<b>Pramen PA 6</b>	190,82	1,74	0,91	201,54	189,57
<b>Šňůra</b>					
I	3574,00	19,08	0,53	3584,72	3560,36
II	3587,00	28,65	0,80	3597,72	3566,52
III	3365,00	13,60	0,40	3375,72	3355,28
IV	3300,00	24,90	0,75	3310,72	3282,20
V	3234,00	19,08	0,59	3244,72	3220,36

## B) Výsledné naměřené hodnoty pevnosti a tažnosti pramene

Oznaceni (kod) : PAD\_6

Material :

Meril : Vintrova

Firma :

Technologie :

Jemnost (tex) : 191

Poznamka :

Rychlost pronicu (mm/min) : 300

Nazev zkousky : Příže

Druh zkousky : Tah

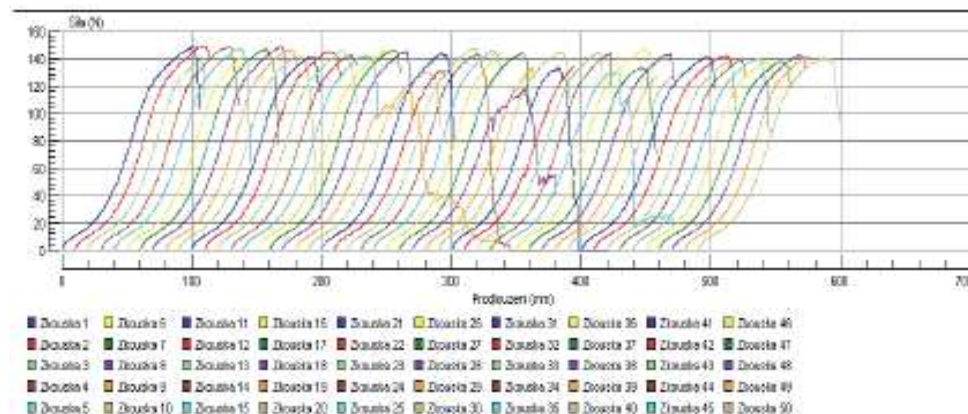
Datum zkousky : 30. 10. 2008 10:00

Rychlost zkousky : 300.000 mm/min

Předpětí : 0.955 N

Delka vzorku : 500.000 mm

Zkouška c.	Prodl. při přetihu (mm)	Síla při přetihu (N)	Doba pro dosazení prásknutí (Secs)	Práce při přetihu (N.m)	Tažnost při přetihu (%)	Nejvyšší pevnost (N)	Práce při nejvyšší síle (N.m)	Prodloužení při nejv. Pevnosti (mm)	Práce při nejvyšší síle (N.m)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	105.893	103.040	21.187	8.224	21.147	147.890	7.492	100.570	7.492	20.084
2	103.129	141.720	20.634	7.941	20.598	148.810	7.474	99.948	7.474	19.980
3	89.835	111.770	17.074	5.955	17.940	137.800	5.590	87.188	5.590	17.411
4	105.878	105.670	21.184	8.281	21.143	148.090	7.326	98.939	7.326	19.758
5	105.509	63.830	21.110	8.157	21.071	146.930	6.836	95.545	6.836	19.081
6	91.890	140.020	18.346	8.148	18.312	141.010	5.823	89.579	5.823	17.450
7	105.830	76.380	21.175	8.220	21.134	148.900	7.052	97.212	7.052	19.413
8	102.627	125.810	20.534	7.795	20.495	148.030	7.172	98.285	7.172	19.628
9	102.484	124.720	20.501	7.775	20.459	146.420	6.813	95.846	6.813	19.098
10	105.903	35.940	21.189	7.859	21.147	141.950	6.213	91.757	6.213	18.322
11	98.230	115.720	19.854	7.074	19.821	141.780	6.392	93.098	6.392	18.598
12	104.203	125.140	20.849	7.986	20.811	144.700	6.988	95.048	6.988	18.982
13	108.578	104.060	21.523	8.237	21.283	145.130	6.744	95.500	6.744	19.071
14	96.525	134.930	19.313	6.858	19.278	141.920	6.348	92.878	6.348	18.549
15	103.450	95.200	20.898	7.714	20.862	141.920	6.380	93.535	6.380	18.681
16	103.495	141.430	20.708	7.708	20.870	146.380	7.319	100.830	7.319	20.138
17	100.871	129.280	20.182	7.587	20.145	146.170	6.865	95.875	6.865	19.147
18	97.448	122.250	19.498	7.006	19.459	144.700	6.775	95.786	6.775	19.127
19	180.015	5.380	32.032	7.544	31.961	115.630	4.897	86.164	4.897	17.210
20	100.880	90.510	20.180	6.944	20.143	129.630	5.939	92.809	5.939	18.495
21	100.807	78.530	20.170	7.425	20.131	143.320	6.341	92.672	6.341	18.508
22	85.098	127.210	17.027	5.105	16.997	136.750	4.932	81.483	4.932	16.271
23	104.571	129.940	20.923	8.042	20.884	147.040	6.827	98.053	6.827	19.182
24	147.909	-0.450	20.611	7.625	20.539	143.120	6.186	90.286	6.186	18.031
25	96.583	127.880	19.325	7.006	19.290	146.280	6.390	92.252	6.390	18.425
26	90.198	142.770	18.047	6.086	18.012	143.560	5.967	89.393	5.967	17.848
27	99.375	102.530	19.883	7.253	19.848	143.240	6.682	95.058	6.682	18.988
28	109.635	39.950	21.938	6.579	21.894	117.550	4.845	85.718	4.845	17.118
29	83.111	125.400	16.829	4.871	16.801	133.100	4.784	82.451	4.784	16.469
30	101.304	110.980	20.289	7.610	20.235	144.540	6.842	94.186	6.842	18.809
31	120.294	-0.560	24.065	6.232	24.022	132.990	4.930	82.701	4.930	16.515
32	84.583	133.270	18.020	4.961	18.890	133.610	4.939	84.396	4.939	18.857
33	96.332	123.480	19.274	6.875	19.242	143.890	6.453	93.332	6.453	18.643
34	93.373	120.870	18.682	6.499	18.647	143.470	6.382	92.545	6.382	18.481
35	131.148	17.570	26.257	7.447	26.195	130.110	5.431	87.780	5.431	17.533
36	104.892	129.410	20.947	8.003	20.908	147.300	7.239	99.396	7.239	19.844
37	97.009	70.130	19.410	6.491	19.376	133.290	5.278	86.457	5.278	17.269
38	101.642	123.880	20.336	7.365	20.300	142.780	6.969	98.687	6.969	19.705
39	79.081	126.110	15.823	4.317	15.794	126.280	4.296	78.914	4.296	15.761
40	80.751	126.140	16.157	4.459	16.128	126.480	4.292	79.430	4.292	15.864
41	102.359	118.030	20.480	7.527	20.441	140.870	6.777	98.895	6.777	19.350
42	107.989	111.880	21.807	8.209	21.598	141.950	7.287	101.047	7.287	20.180
43	99.823	98.990	19.075	6.951	19.036	136.120	5.921	91.739	5.921	18.322
44	95.505	124.980	19.109	6.583	19.075	138.530	6.132	92.353	6.132	18.446
45	104.359	85.520	20.880	7.679	20.838	139.720	6.612	96.100	6.612	19.190
46	98.219	120.230	19.652	6.892	19.615	137.800	6.078	92.106	6.078	18.394
47	100.798	119.050	20.188	7.215	20.133	138.080	6.348	94.340	6.348	18.843
48	102.072	132.990	20.423	7.452	20.385	142.450	6.870	97.928	6.870	19.558
49	95.775	139.810	19.163	6.811	19.127	141.180	6.425	94.449	6.425	18.882
50	108.909	94.420	21.771	8.222	21.729	140.220	6.552	98.065	6.552	19.184
Střed	102.272	103.743	20.464	7.091	20.425	140.028	6.252	92.638	6.252	18.501





Statistické zpracování naměřených hodnot pevnosti a tažnosti pramene

PA 6	$\bar{x}$	s	v	<IS <sub>d</sub> ; IS <sub>h</sub> >
Pevnost [N]	140, 03	7,48	55,96	<137,94; 142,1>
Tažnost[%]	18, 5	1,11	1,23	<18,19; 18,81>

## C) Výsledné naměřené hodnoty pevnosti a tažnosti jednotlivých šňůr

### Šňůra I

Oznaceni (kod) : snura

Material : PAD\_6

Meril : Vintrova

Firma :

Technologie :

Jemnost (tex) : 3000

Poznamka :

Rychlost přicniku (mm/min) : 10

Nazev zkousky : monika

Druh zkousky : Tah

Datum zkousky : 9. 1. 2009 8:13

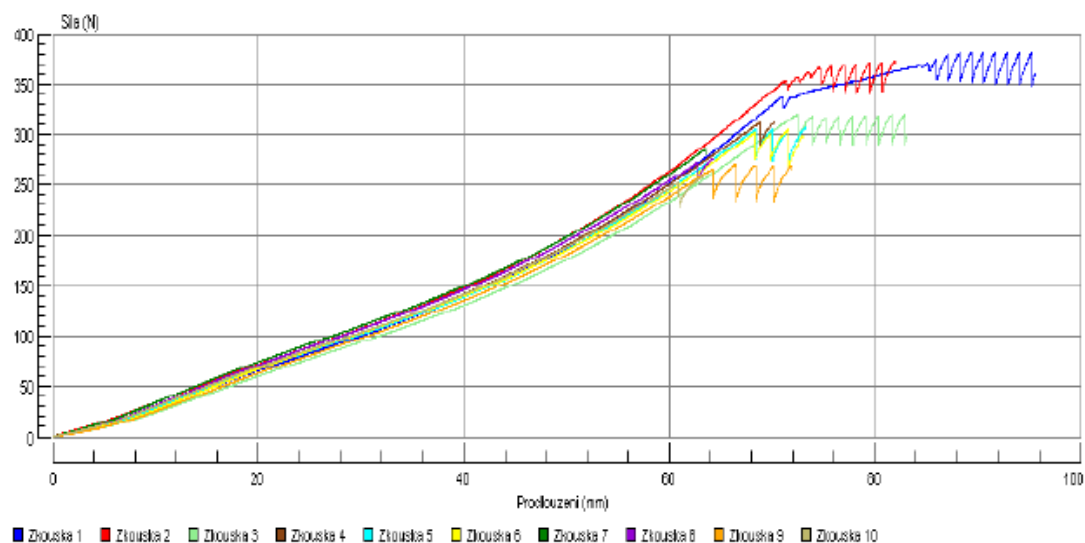
Rychlost zkousky : 10.000 mm/min

Předpeti : Vypnuto

Delka vzorku : 500.000 mm

Zkouska c.	Prodl. při pretrhu (mm)	Síla při pretrhu (N)	Doba pro dosazení prasknutí (Secs)	Práce při pretrhu (N.m)	Tažnost při pretrhu (%)	Nejvyšší pevnost (N)	Práce při nejvyšší síle (N.m)	Prodloužení při nejv. Pevnosti (mm)	Práce při nejvyšší síle (N.m)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	95.547	358.740	574.045	18.459	19.109	381.640	16.624	90.540	16.624	18.108
2	81.960	371.750	492.435	14.170	16.392	373.390	14.168	81.954	14.168	16.391
3	83.165	300.480	499.677	12.696	16.633	319.770	9.410	72.458	9.410	14.492
4	70.185	310.840	421.693	9.433	14.037	311.100	9.013	68.797	9.013	13.759
5	73.209	305.180	439.841	10.131	14.642	306.170	10.128	73.197	10.128	14.639
6	73.052	296.960	438.901	10.029	14.610	305.300	9.622	71.632	9.622	14.326
7	63.508	279.710	381.569	7.886	12.702	284.750	7.875	63.470	7.875	12.694
8	64.277	274.790	386.195	7.862	12.855	275.270	7.847	64.224	7.847	12.845
9	71.916	265.980	432.088	9.216	14.383	269.920	7.806	66.405	7.806	13.281
10	63.313	257.650	380.401	7.347	12.663	257.940	7.333	63.260	7.333	12.652
Střed	74.013	302.208	444.684	10.723	14.803	308.525	9.983	71.594	9.983	14.319

Zkouska c. Poissonova  
konstanta



## Šňůra II

Oznaceni (kod) : snura

Material : PAD\_6

Meril : Vintrova

Firma :

Technologie :

Jemnost (tex) : 3000

Poznamka :

Rychlost pricniku (mm/min) : 10

Nazev zkousky : monika

Druh zkousky : Tah

Datum zkousky : 12. 12. 2008 13:53

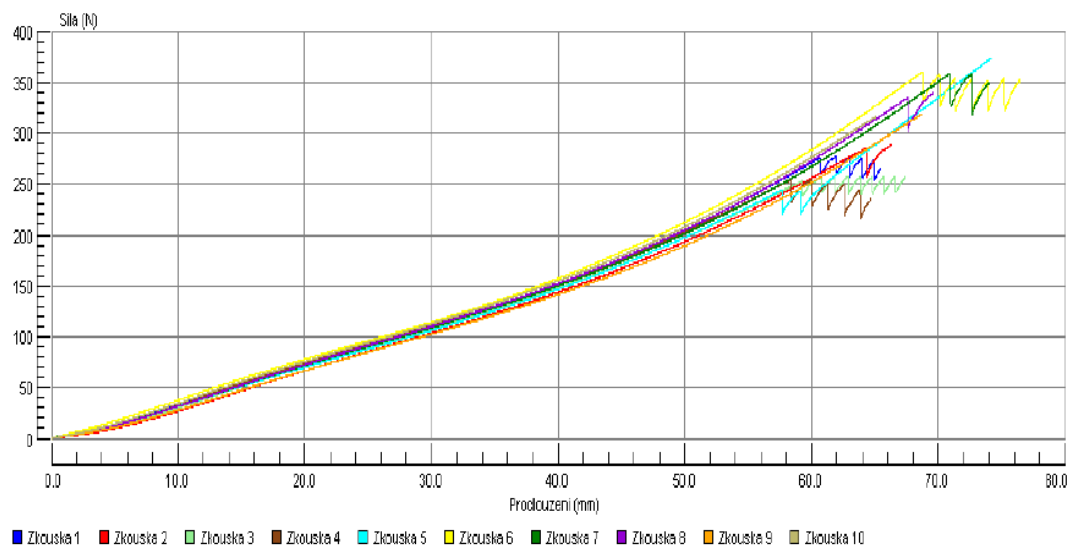
Rychlost zkousky : 10.000 mm/min

Predpeti : Vypnuto

Delka vzorku : 500.000 mm

Zkouska c.	Prodl. pri pretrhu (mm)	Sila pri pretrhu (N)	Doba pro dosazeni prasknuti (Secs)	Prace pri pretrhu (N.m)	Taznost pri pretrhu (%)	Nejvyssi pevnost (N)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Prodlozeni pri nejv. Pevnosti (mm)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Taznost pri nejvyssi pevnosti (%)
1	65.394	264.950	392.916	8.482	13.079	277.490	7.568	61.961	7.568	12.392
2	66.284	288.310	398.257	8.290	13.257	288.490	8.277	66.241	8.277	13.248
3	67.377	256.600	404.844	8.640	13.475	257.500	8.225	65.716	8.225	13.143
4	64.658	234.820	388.482	8.079	12.932	254.700	6.982	60.011	6.982	12.002
5	74.202	372.340	445.811	11.112	14.840	373.300	11.101	74.173	11.101	14.835
6	76.465	349.210	459.410	12.820	15.293	359.740	10.187	68.754	10.187	13.751
7	73.974	348.340	444.462	11.374	14.795	358.390	10.337	70.932	10.337	14.186
8	69.599	338.540	418.174	9.987	13.920	338.910	9.985	69.593	9.985	13.919
9	68.706	317.700	412.814	8.974	13.741	317.890	8.956	68.648	8.956	13.730
10	65.059	315.560	390.892	8.689	13.012	315.730	8.682	65.038	8.682	13.008
Stred	69.172	308.637	415.606	9.645	13.834	314.214	9.030	67.107	9.030	13.421

Zkouska c. Poissonova konstanta



## Šňůra III

Oznaceni (kod) : snura

Material : PAD\_6

Meril : Vintrova

Firma :

Technologie :

Jemnost (tex) : 3000

Poznamka :

Rychlost pricniku (mm/min) : 10

Nazev zkousky : monika

Druh zkousky : Tah

Datum zkousky : 12. 12. 2008 11:38

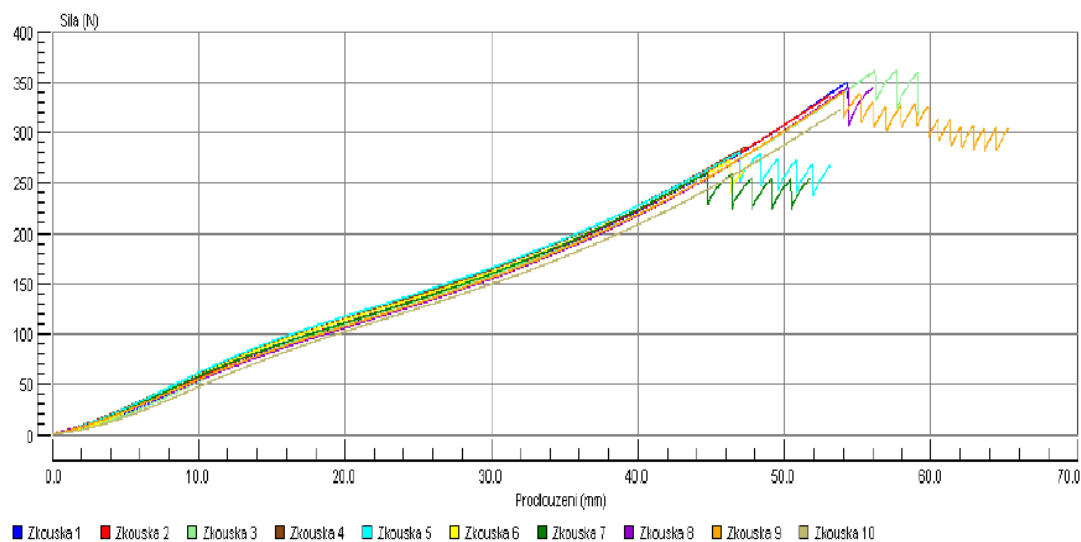
Rychlost zkousky : 10.000 mm/min

Predpeti : Vypnuto

Delka vzorku : 500.000 mm

Zkouska c.	Prodl. pri pretrhu (mm)	Sila pri pretrhu (N)	Doba pro dosazeni prasknuti (Secs)	Prace pri pretrhu (N.m)	Taznost pri pretrhu (%)	Nejvyssi pevnost (N)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Prodlozeni pri nejv. Pevnosti (mm)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Taznost pri nejvyssi pevnosti (%)
1	54.277	334.280	326.129	8.324	10.855	349.550	8.320	54.266	8.320	10.853
2	53.080	335.240	318.941	7.984	10.616	336.470	7.977	53.059	7.977	10.612
3	59.158	320.570	355.479	9.913	11.832	361.330	8.886	56.191	8.886	11.238
4	47.342	284.960	284.478	6.390	9.468	285.460	6.382	47.314	6.382	9.463
5	53.105	265.910	319.084	7.916	10.621	280.030	6.305	46.917	6.305	9.383
6	47.907	270.120	287.870	6.391	9.581	271.830	5.967	46.272	5.967	9.254
7	51.779	253.490	311.116	7.228	10.356	259.890	5.518	44.745	5.518	8.949
8	56.046	344.540	336.736	8.748	11.209	344.840	8.188	54.351	8.188	10.870
9	65.252	303.950	392.063	11.585	13.050	339.440	8.103	53.981	8.103	10.796
10	53.800	321.360	323.249	7.616	10.760	322.320	7.612	53.788	7.612	10.758
Stred	54.175	303.442	325.514	8.209	10.835	315.116	7.326	51.088	7.326	10.218

Zkouska c. Poissonova konstanta



## Šňůra IV

Oznaceni (kod) : snura

Material : PAD\_6

Meril : Vintrova

Firma :

Technologie :

Jemnost (tex) : 3000

Poznamka :

Rychlost pricniku (mm/min) : 10

Nazev zkousky : monika

Druh zkousky : Tah

Datum zkousky : 9. 1. 2009 10:04

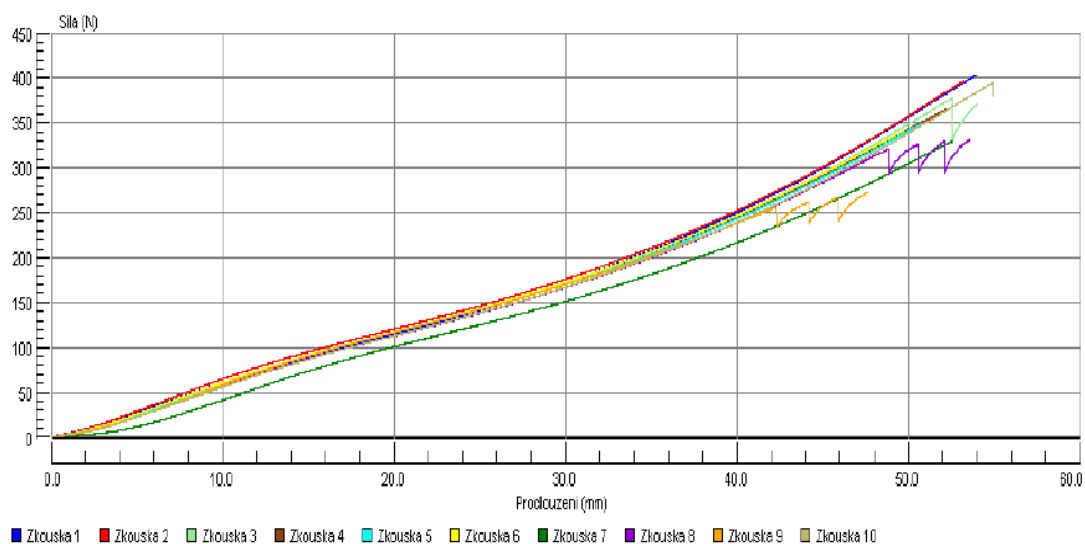
Rychlost zkousky : 10.000 mm/min

Predpeti : Vypnuto

Delka vzorku : 500.000 mm

Zkouska c.	Prodl. pri pretrhu (mm)	Sila pri pretrhu (N)	Doba pro dosazeni prasknuti (Secs)	Prace pri pretrhu (N.m)	Taznost pri pretrhu (%)	Nejvyssi pevnost (N)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Prodlouzeni pri nejv. Pevnosti (mm)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Taznost pri nejvyssi pevnosti (%)
1	53.961	403.020	324.237	9.204	10.792	403.250	9.202	53.956	9.202	10.791
2	53.191	396.370	319.604	9.069	10.638	396.370	9.069	53.191	9.069	10.638
3	54.025	370.020	324.609	9.086	10.805	377.740	8.564	52.555	8.564	10.511
4	52.252	365.390	313.957	8.394	10.450	365.870	8.389	52.236	8.389	10.447
5	50.796	348.710	305.214	7.828	10.159	349.160	7.821	50.774	7.821	10.155
6	49.774	340.710	299.082	7.563	9.955	341.360	7.555	49.752	7.555	9.950
7	52.558	327.340	315.808	7.362	10.512	329.350	7.347	52.512	7.347	10.502
8	53.566	329.920	321.861	8.468	10.713	331.780	8.466	53.561	8.466	10.712
9	47.639	272.590	286.230	6.536	9.528	272.650	6.535	47.633	6.535	9.527
10	54.916	381.190	329.959	9.185	10.983	394.710	9.172	54.884	9.172	10.977
Stred	52.268	353.526	314.056	8.270	10.454	356.224	8.212	52.105	8.212	10.421

Zkouska c. Poissonova



## Šňůra V

Oznaceni (kod) : snura

Material : PAD\_6

Meril : Vintrova

Firma :

Technologie :

Jemnost (tex) : 3000

Poznamka :

Rychlost pricniku (mm/min) : 10

Nazev zkousky : monika

Druh zkousky : Tah

Datum zkousky : 12. 12. 2008 15:22

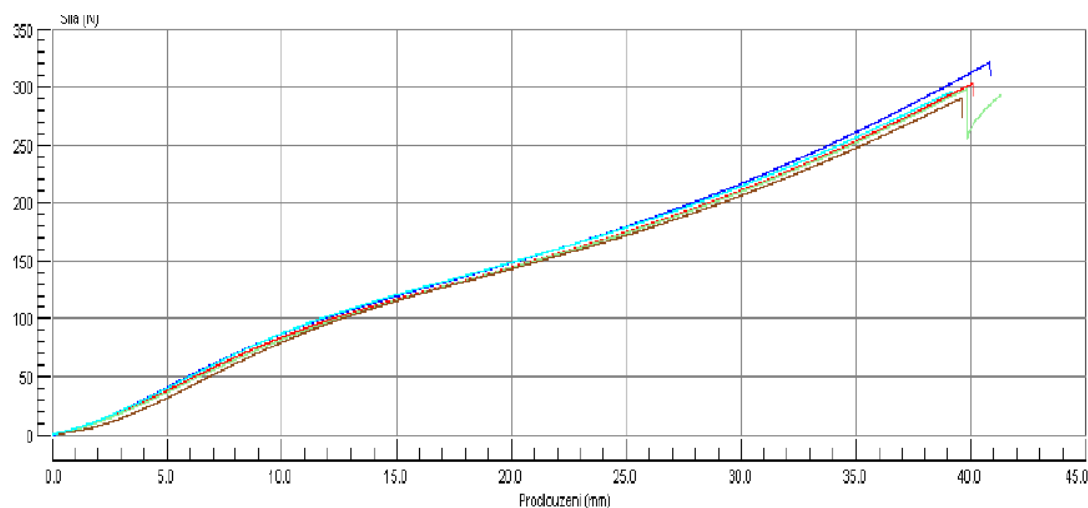
Rychlost zkousky : 10.000 mm/min

Predpeti : Vypnuto

Delka vzorku : 500.000 mm

Zkouska c.	Prodl. pri prethru (mm)	Sila pri prethru (N)	Doba pro dosazeni prasknuti (Secs)	Prace pri prethru (N.m)	Taznost pri prethru (%)	Nejvyssi pevnost (N)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Prodlozeni pri nejv. Pevnosti (mm)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Taznost pri nejvyssi pevnosti (%)
1	40.834	309.700	245.348	6.291	8.167	321.130	6.289	40.827	6.289	8.165
2	40.116	292.150	241.046	5.886	8.023	303.420	5.879	40.093	5.879	8.019
3	41.354	291.690	248.489	6.180	8.271	298.280	5.756	39.835	5.756	7.967
4	39.601	274.430	237.953	5.577	7.920	290.120	5.573	39.589	5.573	7.918
5	39.197	295.810	235.534	5.738	7.839	296.010	5.735	39.185	5.735	7.837
Stred	40.220	292.756	241.674	5.935	8.044	301.792	5.846	39.906	5.846	7.981

Zkouska c. Poissonova konstanta



Oznaceni (kod) : snura

Material : PAD\_6

Meril : Vintrova

Firma :

Technologie :

Jemnost (tex) : 3000

Poznamka :

Rychlost pricniku (mm/min) : 10

Nazev zkousky : monika

Druh zkousky : Tah

Datum zkousky : 9. 1. 2009 11:52

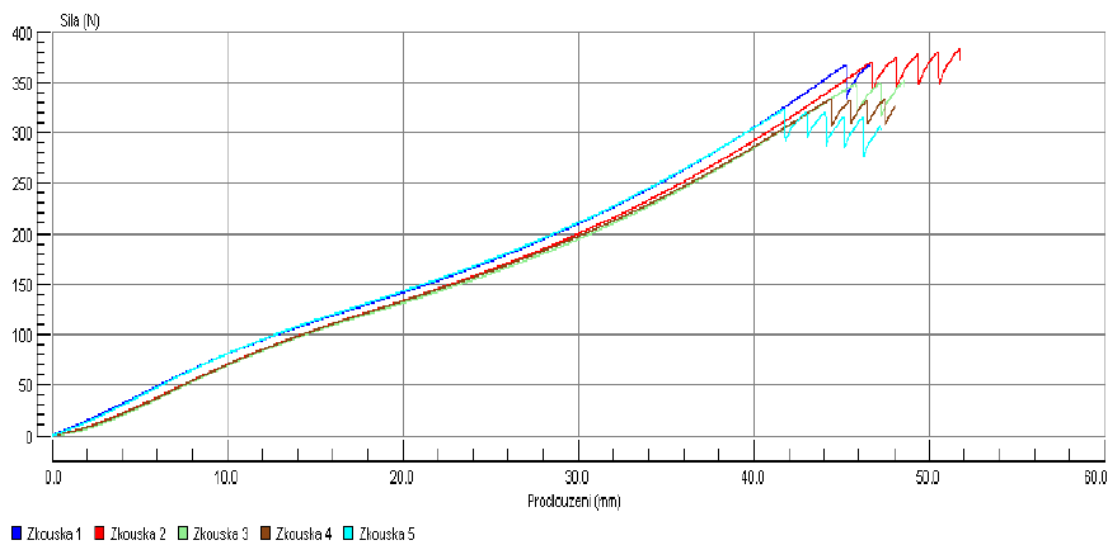
Rychlost zkousky : 10.000 mm/min

Predpeti : Vypnuto

Delka vzorku : 500.000 mm

Zkouska c.	Prodl. pri prethru (mm)	Sila pri prethru (N)	Doba pro dosazeni prasknuti (Secs)	Prace pri prethru (N.m)	Taznost pri prethru (%)	Nejvyssi pevnost (N)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Prodlozeni pri nejv. Pevnosti (mm)	Prace pri nejvyssi sile (N.m)	Taznost pri nejvyssi pevnosti (%)
1	46.611	365.290	280.059	8.057	9.322	366.930	8.047	46.584	8.047	9.317
2	51.720	373.190	310.759	9.484	10.344	382.310	9.480	51.709	9.480	10.342
3	48.616	346.400	292.103	8.086	9.723	350.850	8.076	48.587	8.076	9.717
4	48.028	325.750	288.594	7.904	9.606	333.870	6.745	44.426	6.745	8.885
5	47.222	303.840	283.738	8.043	9.444	323.440	6.377	41.743	6.377	8.349
Stred	48.439	342.894	291.051	8.315	9.688	351.480	7.745	46.610	7.745	9.322

Zkouska c. Poissonova konstanta



Intervaly spolehlivosti pevnosti a tažnosti pro jednotlivé šňůry

Šňůra	I	II	III	IV	V
<b>Pevnost P</b> [N]	314,21 <284,18; 332,87>	308,53 <288,73; 339,7>	315,12 <293,34; 336,89>	356,22 <332,68; 379,77>	326,64 <308,02; 345,25>
<b>Tažnost</b> $\epsilon$ [%]	13,42 <12,82; 14,02>	14,32 <13,06; 15,57>	10,22 < 9,61; 10,82>	10,42 <10,11; 10,73>	8,65 <8,03; 9,27>

Statistické zpracování pevnosti a tažnosti jednotlivých šňůr

Šňůra		I	II	III	IV	V
<b>Pevnost</b> [N]	$\bar{x}$	314,21	308,53	315,12	326,22	326,64
	<b>v</b>	13,09	12,73	11,15	10,67	9,19
	<b>s</b>	41,12	39,27	35,12	37,99	30,03
	<b>&lt;IS<sub>d</sub>; IS<sub>h</sub>&gt;</b>	<288,73; 339,7>	<284,18; 332,87>	<293,34; 336,89>	<332,68; 379,77>	<308,02; 345,02>
<b>Tažnos</b> [%]	<b>v</b>	13, 42	14,32	10,22	10,42	8,65
	<b>s</b>	0,06	0,12	0,08	0,04	0,09
		0,84	1,76	0,85	0,43	0,86

**D)Výsledné naměřené hodnoty úhlu  $\alpha$ , velikosti kosočtverečné jednotky  $x$  a průměru  $d$  šňůry v průběhu tahového namáhání**

Statistické zpracování neměřených dat úhlů  $\alpha$  jednotlivých šňůr v průběhu tahového namáhání

<b>Šňůra I</b>						
<b>Analýza malých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	71,80	67,51	76,09	66,79	76,81	10,76
15	70,59	67,54	73,63	67,03	74,14	7,63
15	69,51	64,49	74,53	63,65	75,37	12,58
15	66,83	62,83	70,83	62,16	71,50	10,02
15	67,19	62,76	71,62	62,02	72,36	11,10
15	66,49	62,26	70,72	61,55	71,43	10,60
15	64,66	60,67	68,65	60,00	69,32	10,00
15	63,27	58,99	67,55	58,27	68,27	10,72
15	62,48	59,43	65,53	58,92	66,04	7,64
15	59,38	57,38	61,37	57,05	61,70	4,99
15	57,58	54,47	60,68	53,95	61,20	7,77
15	54,60	53,31	55,88	53,09	56,10	3,23
15	54,01	51,10	56,91	50,62	57,39	7,27
15	55,76	53,95	57,57	53,64	57,88	4,54
15	52,20	48,25	56,15	47,59	56,81	9,90
15	50,81	48,51	53,10	48,13	53,48	5,75
15	51,21	48,89	53,53	48,50	53,92	5,82
15	49,88	47,80	51,95	47,45	52,30	5,21
15	49,31	47,27	51,34	46,93	51,68	5,09
15	48,12	46,36	49,87	46,06	50,17	4,41
15	47,85	45,69	50,00	45,32	50,37	5,41
15	46,55	43,96	49,14	43,53	49,57	6,48
15	46,87	45,39	48,35	45,14	48,60	3,72
15	45,73	43,84	47,62	43,52	47,94	4,74
15	45,80	43,51	48,09	43,13	48,47	5,74
15	45,82	44,41	47,22	44,17	47,46	3,53
15	43,25	41,53	44,97	41,25	45,25	4,30
15	44,13	42,85	45,41	42,63	45,63	3,22
15	45,20	43,92	46,48	43,70	46,70	3,22
15	43,34	42,07	44,61	41,86	44,82	3,18
15	41,88	40,43	43,32	40,19	43,56	3,61
15	40,33	39,00	41,65	38,78	41,87	3,31

<b>Šňůra II</b>						
<b>Analýza malých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	74,09	71,08	77,09	70,58	77,59	7,53



15	72,43	69,80	75,06	69,35	75,51	6,60
15	72,38	70,31	74,44	69,97	74,78	5,17
15	71,74	69,26	74,22	68,84	74,64	6,22
15	68,66	64,96	72,35	64,34	72,97	9,27
15	69,39	67,43	71,35	67,11	71,67	4,90
15	66,48	63,87	69,08	63,43	69,52	6,53
15	65,23	63,08	67,38	62,71	67,75	5,40
15	64,55	61,79	67,30	61,32	67,77	6,91
15	61,71	59,36	64,06	58,97	64,45	5,88
15	62,70	60,84	64,56	60,53	64,87	4,66
15	63,31	59,96	66,66	59,40	67,22	8,40
15	58,20	55,72	60,68	55,30	61,10	6,22
15	58,38	56,15	60,60	55,78	60,97	5,57
15	57,33	54,10	60,55	53,56	61,09	8,09
15	58,91	54,95	62,87	54,29	63,53	9,92
15	56,36	53,72	59,00	53,28	59,44	6,62
15	53,65	51,03	56,26	50,59	56,70	6,55
15	54,53	52,25	56,80	51,87	57,18	5,69
15	53,22	50,33	56,10	49,85	56,58	7,23
15	53,97	50,52	57,41	49,94	57,99	8,63
15	51,69	46,40	56,98	45,51	57,87	13,26
15	51,75	47,39	56,10	46,66	56,83	10,91
15	49,64	47,07	52,21	46,64	52,64	6,44
15	48,51	44,50	52,52	43,82	53,20	10,06
15	47,68	43,55	51,80	42,85	52,50	10,35
15	48,27	45,25	51,28	44,75	51,78	7,55
15	46,83	42,18	51,47	41,40	52,25	11,65

<b>Šňůra III</b>						
<b>Analýza mylých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	54,61	51,83	57,39	51,37	57,85	6,96
15	50,80	48,17	53,42	47,72	53,87	6,59
15	51,49	48,22	54,76	47,67	55,31	8,20
15	49,88	47,20	52,55	46,75	53,00	6,71
15	48,55	44,23	52,86	43,51	53,58	10,81
15	45,19	41,15	49,23	40,47	49,91	10,12
15	44,07	40,00	48,13	39,32	48,81	10,19
15	40,12	34,61	45,63	33,68	46,56	13,82
15	39,26	33,12	45,39	32,09	46,42	15,37
15	40,26	35,13	45,38	34,27	46,24	12,85
15	39,64	33,93	45,34	32,98	46,29	14,29
15	36,54	31,59	41,49	30,76	42,32	12,40
15	35,94	28,85	43,03	27,65	44,23	17,78
15	35,78	30,58	40,97	29,70	41,85	13,03
15	33,86	27,25	40,47	26,14	41,58	16,56
15	34,93	28,85	41,00	27,83	42,02	15,23
15	36,25	30,26	42,23	29,25	43,24	15,01
15	36,25	30,30	42,20	29,31	43,19	14,90

15	34,30	28,94	39,65	28,05	40,54	13,41
15	31,65	25,28	38,01	24,21	39,08	15,95
15	32,44	27,96	36,91	27,21	37,66	11,21

<b>Šňůra IV</b>						
<b>Analýza malých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	57,28	55,57	58,99	55,29	59,27	4,28
15	50,53	47,97	53,09	47,54	53,52	6,42
15	50,40	46,86	53,94	46,26	54,54	8,88
15	42,87	38,26	47,47	37,48	48,25	11,55
15	43,06	39,20	46,91	38,56	47,55	9,65
15	38,67	35,31	42,02	34,75	42,58	8,41
15	40,15	36,08	44,22	35,40	44,90	10,20
15	37,51	33,83	41,19	33,21	41,81	9,22
15	38,18	33,79	42,57	33,05	43,31	11,00
15	37,03	31,44	42,61	30,50	43,55	14,01
15	36,92	33,09	40,74	32,45	41,38	9,59
15	33,60	28,42	38,77	27,55	39,64	12,97
15	35,37	30,34	40,40	29,50	41,24	12,60
15	31,21	25,17	37,25	24,15	38,27	15,14
15	31,50	23,54	39,45	22,21	40,78	19,93
15	29,83	25,54	34,12	24,83	34,83	10,74
15	27,68	21,48	33,88	20,44	34,92	15,54
15	28,49	22,97	34,00	22,04	34,93	13,83
15	27,54	21,80	33,27	20,84	34,23	14,37
15	28,29	20,69	35,89	19,41	37,17	19,06
15	27,08	19,11	35,04	17,77	36,38	19,97
15	25,95	18,31	33,58	17,03	34,86	19,13

<b>Šňůra V</b>						
<b>Analýza malých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	37,88	36,07	39,68	35,76	39,99	4,53
15	37,47	35,19	39,74	34,81	40,12	5,69
15	34,06	32,14	35,98	31,82	36,30	4,80
15	32,47	30,73	34,20	30,44	34,49	4,35
15	32,69	31,06	34,31	30,79	34,58	4,07
15	31,45	29,39	33,51	29,05	33,85	5,16
15	30,34	29,45	31,22	29,30	31,37	2,23
15	29,96	28,33	31,59	28,06	31,86	4,08
15	29,41	28,06	30,75	27,83	30,98	3,37
15	29,11	28,30	29,92	28,17	30,05	2,02
15	28,95	28,10	29,80	27,95	29,95	2,14
15	29,08	27,98	30,17	27,79	30,36	2,75
15	28,81	27,26	30,35	27,00	30,61	3,87
15	27,36	25,87	28,84	25,63	29,08	3,71

15	26,92	25,28	28,56	25,01	28,83	4,10
15	27,54	26,13	28,94	25,89	29,18	3,53
15	26,88	26,07	27,69	25,93	27,83	2,04

Statistické zpracování naměřených dat velikosti kosočtverečné jednotky  
jednotlivých šňůr v průběhu tahového namáhání

<b>Šňůra I</b>					
<b>Analýza malých výběrů</b>					
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>	
15	1737,44	1665,05	1809,83	181,42	
15	1758,38	1691,56	1825,20	167,46	
15	1744,43	1655,33	1833,52	223,29	
15	1828,16	1750,20	1906,11	195,37	
15	1779,31	1706,92	1851,70	181,42	
15	1786,29	1708,33	1864,25	195,38	
15	1772,34	1694,38	1850,29	195,37	
15	1828,16	1761,33	1894,98	167,47	
15	1870,02	1780,93	1959,11	223,28	
15	1842,11	1764,15	1920,07	195,38	
15	1856,07	1766,97	1945,16	223,29	
15	1953,75	1853,52	2053,98	251,20	
15	1932,82	1815,89	2049,75	293,06	
15	2016,55	1877,35	2155,75	348,88	
15	2030,51	1869,03	2191,98	404,71	
15	1988,64	1838,30	2138,98	376,80	
15	2051,44	1906,67	2196,21	362,84	
15	2058,42	1941,49	2175,35	293,06	
15	2114,24	2019,58	2208,90	237,24	
15	2016,55	1899,62	2133,48	293,06	
15	2086,33	1958,26	2214,40	320,98	
15	2156,11	2050,31	2261,90	265,15	
15	2107,26	2007,03	2207,49	251,20	
15	2135,18	1912,45	2357,90	558,21	
15	2177,04	2009,99	2344,09	418,66	
15	2191,00	2001,67	2380,32	474,49	
15	2239,84	1989,27	2490,40	627,99	
15	2246,82	2046,36	2447,27	502,39	
15	2218,91	2018,45	2419,36	502,39	
15	2232,86	2032,40	2433,32	502,40	
15	2177,04	1932,04	2422,04	614,04	

<b>Šňůra II</b>						
<b>Analýza malých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	1766,29	1704,02	1828,56	1693,57	1839,01	156,06
15	1808,85	1757,91	1859,79	1749,35	1868,35	127,68

15	1815,95	1759,34	1872,55	1749,83	1882,06	141,87
15	1815,94	1781,98	1849,90	1776,27	1855,61	85,12
15	1766,29	1726,66	1805,91	1720,01	1812,56	99,31
15	1837,22	1774,95	1899,49	1764,50	1909,94	156,06
15	1851,41	1777,82	1925,00	1765,46	1937,36	184,44
15	1823,04	1760,77	1885,30	1750,32	1895,75	156,05
15	1844,32	1776,39	1912,24	1764,98	1923,65	170,25
15	1886,88	1830,27	1943,48	1820,76	1952,99	141,87
15	1858,51	1813,22	1903,79	1805,62	1911,39	113,49
15	1893,97	1831,70	1956,24	1821,25	1966,69	156,06
15	1858,51	1790,58	1926,43	1779,17	1937,84	170,25
15	1886,88	1818,95	1954,81	1807,55	1966,21	170,24
15	1844,32	1799,03	1889,60	1791,43	1897,20	113,49
15	1886,88	1818,95	1954,81	1807,55	1966,21	170,24
15	1915,25	1881,29	1949,21	1875,58	1954,92	85,12
15	1865,60	1825,97	1905,22	1819,32	1911,87	99,31
15	1915,26	1858,65	1971,86	1849,14	1981,37	141,87
15	1929,44	1895,48	1963,40	1889,77	1969,11	85,12
15	1957,82	1889,89	2025,74	1878,48	2037,15	170,25
15	1943,63	1887,02	2000,23	1877,51	2009,74	141,87
15	1943,63	1887,02	2000,23	1877,51	2009,74	141,87
15	2028,75	1972,14	2085,35	1962,63	2094,86	141,87
15	1950,72	1865,81	2035,63	1851,56	2049,88	212,80
15	2014,56	1935,31	2093,81	1922,00	2107,12	198,62
15	2028,75	1949,50	2108,00	1936,19	2121,31	198,62
15	2014,56	1969,27	2059,85	1961,67	2067,45	113,50
15	2014,56	1935,31	2093,81	1922,00	2107,12	198,62

	<b>Šňůra III</b>					
	<b>Analýza malých výběrů</b>					
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	2177,71	2126,77	2228,65	2118,21	2237,21	127,68
15	2206,09	2121,17	2291,00	2106,92	2305,25	212,81
15	2269,93	2213,32	2326,53	2203,81	2336,04	141,87
15	2163,53	2123,90	2203,15	2117,25	2209,80	99,31
15	2191,90	2129,63	2254,17	2119,18	2264,62	156,06
15	2234,46	2172,19	2296,73	2161,74	2307,18	156,06
15	2199,00	2142,39	2255,60	2132,88	2265,11	141,87
15	2199,00	2131,07	2266,92	2119,66	2278,33	170,25
15	2277,02	2226,08	2327,96	2217,52	2336,52	127,68
15	2355,05	2287,12	2422,98	2275,72	2434,38	170,24
15	2376,33	2325,39	2427,27	2316,83	2435,83	127,68
15	2347,96	2263,04	2432,87	2248,79	2447,12	212,81
15	2347,96	2285,69	2410,23	2275,24	2420,68	156,06
15	2355,05	2309,76	2400,34	2302,16	2407,94	113,50
15	2425,99	2358,06	2493,91	2346,65	2505,32	170,25
15	2418,89	2322,66	2515,12	2306,50	2531,28	241,18
15	2390,52	2316,93	2464,10	2304,57	2476,46	184,43
15	2347,96	2297,02	2398,90	2288,46	2407,46	127,68

15	2433,08	2348,17	2517,99	2333,92	2532,24	212,80
15	2404,71	2342,44	2466,97	2331,99	2477,42	156,05
15	2411,80	2321,23	2502,37	2306,02	2517,58	227,00

<b>Šňůra IV</b>						
<b>Analýza malých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	2470,11	2381,01	2559,20	2366,05	2574,16	223,29
15	2414,28	2314,05	2514,51	2297,22	2531,34	251,20
15	2456,15	2378,19	2534,10	2365,10	2547,19	195,37
15	2407,31	2301,51	2513,10	2283,75	2530,86	265,15
15	2442,19	2375,37	2509,01	2364,15	2520,23	167,46
15	2449,17	2376,78	2521,56	2364,63	2533,71	181,42
15	2449,17	2399,06	2499,28	2390,64	2507,70	125,60
15	2546,86	2463,33	2630,38	2449,31	2644,40	209,33
15	2539,88	2484,20	2595,56	2474,85	2604,91	139,56
15	2609,66	2542,83	2676,48	2531,61	2687,70	167,47
15	2581,75	2537,20	2626,29	2529,72	2633,77	111,65
15	2581,75	2526,06	2637,43	2516,71	2646,78	139,55
15	2546,86	2463,33	2630,38	2449,31	2644,40	209,33
15	2609,66	2553,97	2665,34	2544,62	2674,69	139,55
15	2623,61	2567,93	2679,29	2558,58	2688,64	139,56
15	2567,79	2456,43	2679,15	2437,73	2697,85	279,10
15	2588,72	2516,33	2661,11	2504,18	2673,26	181,42
15	2630,59	2524,79	2736,38	2507,03	2754,14	265,15
15	2567,79	2456,43	2679,15	2437,73	2697,85	279,10
15	2623,61	2534,52	2712,70	2519,56	2727,66	223,28
15	2609,66	2520,56	2698,75	2505,60	2713,71	223,29

<b>Šňůra V</b>						
<b>Analýza malých výběrů</b>						
<b>N :</b>	<b>Střední hodnota :</b>	<b>Spodní mez (5%) :</b>	<b>Horní mez (95%) :</b>	<b>Spodní mez (2.5%) :</b>	<b>Horní mez (97.5%) :</b>	<b>Pivotové rozpětí :</b>
15	3014,75	2941,16	3088,33	2928,80	3100,69	184,43
15	3071,50	2975,27	3167,73	2959,11	3183,89	241,18
15	3071,50	2986,58	3156,41	2972,33	3170,66	212,81
15	3142,43	3080,16	3204,70	3069,71	3215,15	156,06
15	3142,43	3057,52	3227,34	3043,27	3241,59	212,80
15	3135,34	3033,44	3237,23	3016,33	3254,34	255,37
15	3121,16	3064,55	3177,76	3055,04	3187,27	141,87
15	3128,25	3077,30	3179,19	3068,74	3187,75	127,69
15	3085,68	3023,41	3147,95	3012,96	3158,40	156,06
15	3234,65	3178,04	3291,25	3168,53	3300,76	141,87
15	3128,25	3088,62	3167,87	3081,97	3174,52	99,31
15	3184,99	3122,72	3247,26	3112,27	3257,71	156,06
15	3206,27	3127,02	3285,52	3113,71	3298,83	198,62
15	3142,44	3068,85	3216,02	3056,49	3228,38	184,43
15	3227,56	3165,29	3289,82	3154,84	3300,27	156,05

15	3192,09	3090,19	3293,98	3073,08	3311,09	255,37
15	3220,46	3141,21	3299,71	3127,90	3313,02	198,62

Výsledné naměřených hodnot průměrů  $d$  jednotlivých šňůr a jejich statistické zpracování

	Šňůra I	Šňůra II	Šňůra III	Šňůra IV	Šňůra V
	3717,32	3634,386	3576,528	3492,663	3537,333
	3717,32	3635,905	3565,869	3477,685	3514,641
	3708,333	3620,68	3558,257	3462,708	3484,39
	3699,345	3608,503	3549,122	3450,727	3457,159
	3682,873	3599,367	3539,987	3431,257	3420,89
	3678,379	3597,844	3524,76	3414,782	3404,242
	3666,398	3593,276	3512,579	3393,814	3450,445
	3657,41	3587,186	3497,356	3378,838	3355,791
	3646,927	3588,709	3486,696	3368,353	3328,558
	3648,425	3575,005	3476,037	3354,873	3301,278
	3636,443	3570,438	3468,425	3342,892	3290,669
	3628,954	3562,824	3459,289	3330,91	3270,951
	3627,458	3565,868	3448,632	3320,424	3248,214
	3618,47	3544,554	3444,063	3300,956	3248,186
	3601,994	3549,121	3430,361	3288,974	3217,983
	3601,995	3529,327	3424,27	3278,491	3201,185
	3591,512	3576,528	3445,587	3266,509	3184,512
	3582,526	3504,966	3402,954	3259,019	3164,842
	3581,028	3503,444	3387,727	3253,029	3154,235
	3570,544	3500,399	3374,025	3235,057	3131,494
	3564,552	3495,831	3456,244	3221,578	3127,002
	3557,064	3529,329	3349,664	3206,599	3108,829
	3546,58	3508,013	3342,051	3194,618	3099,745
	3536,095	3479,083	3328,347	3181,139	3093,68
	3530,106	3489,741	3316,166	3166,16	3086,142
	3512,134	3469,948	3302,465	3152,683	3071,015
	3506,143	3497,353	3293,329	3140,7	3058,933
	3488,168	3459,29	3284,193	3134,708	3052,844
	3477,684	3495,832	3273,537	3127,221	3042,284
	3468,7	3471,472	3256,787	3115,241	3034,697
	3452,225	3442,542	3243,083	3104,757	3019,622
	3440,243	3437,974	3240,039	3098,765	3015,078
	3420,772	3437,973	3230,902	3088,28	3009,063
	3426,764	3459,29	3226,336	3068,81	2992,388
	3419,276	3471,469	3218,723	3064,317	2986,349
	3405,794	3466,903	3208,064	3061,322	2981,806
	3396,808	3466,903	3197,405	3056,829	2969,698
	3386,325	3465,38	3194,36	3053,834	2957,569
	3377,339	3436,451	3186,748	3044,847	2953,075
	3372,846	3453,2	3177,613	3049,342	2942,443
	3362,359	3431,883	3163,909	3047,842	2937,949
	3351,877	3428,837	3160,865	3046,347	2933,431
	3344,389	3444,063	3150,207	3047,845	2925,793
	3336,9	3459,289	3139,55	3038,857	2922,797

	3333,904	3442,54	3127,371	3037,359	2909,145
	3321,922	3459,289	3119,756	3031,368	2898,559
	3318,928	3465,379	3103,007	3022,382	2896,988
	3302,454	3457,767	3072,555	3020,883	2892,495
	3300,957	3442,541	3058,854	3004,408	2883,46
	3294,967	3439,496	3060,376	2999,916	2875,87
	3281,485	3427,314	3040,582	3008,902	2872,85
	3276,991	3430,36	3036,012	3005,906	2868,307
	3268,005	3451,677	3022,312	3007,403	2865,287
	3262,014	3441,017	3017,744	3008,901	2862,241
	3257,521	3436,45	3005,563	3007,404	2857,698
	3254,526	3422,747	2993,382	3001,412	2850,21
	3248,535	3436,451	2987,292	3007,404	2851,71
	3245,539	3416,658	2984,247	3008,901	2850,211
	3233,557	3407,522	2978,156	3010,4	2847,24
	3226,07	3407,522	2965,977	3007,404	2854,853
	3220,078	3399,91	2967,498	3010,4	2848,812
	3217,084	3419,703	2952,272	3007,404	2845,842
	3199,111	3395,341	2955,316	3002,912	2839,751
	3187,128	3387,729	2943,137	3004,41	2845,818
	3179,64	3419,703	2938,568	3004,41	2845,967
	3175,146	3413,613	2929,434	3004,41	2848,962
	3166,163	3413,613	2920,299	3005,907	2845,917
	3157,176	3393,819	2920,298	2998,418	2839,9
	3146,691	3398,386	2914,207	2993,926	2835,357
	3137,706	3421,226	2909,639	2987,935	2843,095
	3133,212	3412,089	2902,028	2984,938	2826,445
	3130,218	3370,979	2894,413	2992,426	2838,6
	3124,227	3383,159	2888,323	2989,432	2835,607
	3121,231	3387,728	2883,754	2981,943	2826,445
	3118,234	3406	2874,619	2980,445	2834,133
	3104,755	3378,593	2857,873	2974,454	2831,138
	3106,252	3345,097	2851,781	2986,435	2825,123
	3094,271	3355,755	2847,215	2974,453	2825,147
	3080,791	3358,8	2839,602	2972,956	2825,197
	3077,798	3339,006	2833,513	2965,468	2823,724
	3073,305	3337,484	2827,422	2960,976	2813,166
	3330,911	3320,736	2816,762	2956,483	2819,158
	3053,834	3335,96	2816,762	2953,487	2816,162
	3047,842	3331,392	2815,24	2948,993	2817,709
	3037,357	3329,871	2804,582	2944,502	2810,171
	3029,869	3323,779	2798,493	2943,003	2810,196
	3028,373	3323,779	2796,97	2943,004	2814,663
	3025,379	3316,167	2790,88	2940,008	2807,199
	3017,89	3308,553	2789,356	2937,013	2810,195
	3017,89	3293,328	2793,925	2934,017	2807,2
	3013,396	3288,76	2786,312	2931,022	2808,721
	3008,901	3290,283	2781,743	2928,027	2807,199
	3004,408	3302,464	2774,131	2931,022	2799,66
	2999,915	3284,193	2777,176	2926,528	2802,68
	2996,921	3278,103	2772,608	2923,532	2802,682

	2987,933	3272,014	2768,039	2926,528	2801,21
	2983,441	3275,058	2766,517	2920,537	2799,712
	2975,952	3249,173	2766,517	2920,537	2795,193
	2974,454	3235,471	2760,427	2923,533	2789,202
	2962,473	3229,38	2757,382	2914,545	2790,701
	2951,989	3238,515	2751,292	2913,047	2786,181
	2950,492	3235,471	2748,247	2911,55	2786,182
	2941,506	3227,857	2754,337	2913,048	2786,182
	2943,003	3215,679	2745,202	2904,061	2784,635
	2928,027	3221,768	2748,247	2905,56	2786,182
	2926,529	3212,632	2740,634	2899,569	2786,132
	2923,534	3206,54	2743,679	2902,565	2783,112
	2920,538	3211,109	2739,111	2905,561	2777,146
	2917,542	3208,065	2734,543	2908,555	2775,649
	2908,554	3192,838	2736,068	2905,559	2774,126
	2904,062	3186,748	2728,455	2899,57	2774,127
	2896,573	3176,091	2731,498	2902,565	2766,614
	2884,591	3176,09	2731,5	2895,076	2760,598
	2881,596	3182,181	2728,455	2895,076	2756,078
	2872,61	3170,001	2722,364	2898,071	2760,647
	2863,624	3168,477	2731,499	2896,574	2757,628
	2856,135	3160,864	2725,409	2901,067	2751,586
	2854,638	3157,819	2725,41	2893,579	2744,098
	2848,646	3156,297	2731,499	2893,579	2753,084
	2842,655	3151,73	2728,452	2886,09	2754,581
	2836,665	3148,685	2726,931	2884,591	2756,079
	2832,173	3139,549	2726,931	2884,592	2751,586
	2829,177	3139,549	2725,409	2883,095	2751,588
	2827,679	3134,981	2733,021	2884,593	2751,612
	2827,678	3133,459	2728,453	2881,596	2750,114
	2821,688	3127,367	2729,977	2877,104	2748,592
	2823,184	3121,277	2729,976	2877,104	2742,55
	2817,195	3113,664	2733,022	2869,614	2744,098
	2811,203	3107,576	2725,408	2865,123	2738,031
	2811,204	3096,917	2728,454	2865,123	2741,077
	2806,711	3096,916	2719,317	2865,122	2741,076
	2803,717	3095,393	2716,272	2857,633	2741,1
	2797,725	3089,305	2714,75	2862,126	2736,558
	2791,735	3089,303	2714,752	2860,628	2735,06
	2791,734	3080,168	2711,706	2860,627	2732,065
	2779,751	3080,169	2714,752	2863,624	2726
	2776,756	3072,556	2711,706	2859,13	2721,482
	2775,259	3069,511	2711,707	2859,13	2715,465
	2772,262	3069,51	2713,229	2859,131	2714,018
	2766,273	3064,943	2710,183	2863,624	2710,997
	2760,281	3064,943	2707,137	2863,623	2706,505
	2757,286	3060,374	2704,093	2863,624	2703,461
	2752,793	3054,285	2701,047	2862,127	2700,465
	2746,802	3049,717	2701,047	2866,621	2692,876
	2745,303	3046,671	2694,956	2865,122	2686,81
	2736,318	3049,717	2694,958	2869,616	2679,222



	2730,327	3045,149	2693,434	2863,624	2679,223
	2725,834	3039,06	2691,912	2865,121	2674,679
	2719,842	3037,537	2685,822	2865,122	2676,226
	2715,349	3036,015	2691,912	2865,121	2674,706
	2707,861	3032,971	2687,344	2862,125	2668,715
	2701,872	3028,403	2685,822	2859,131	2670,188
	2694,385	3026,879	2678,209	2859,131	2664,147
	2688,393	3022,312	2675,163	2859,131	2664,147
	2686,894	3023,834	2675,163	2853,142	2658,081
	2682,4	3017,745	2672,117	2854,637	2653,562
	2676,41	3013,174	2672,117	2856,135	2655,11
	2673,414	3014,698	2667,55	2838,164	2668,564
	2668,92	3010,131	2673,641	2829,176	2662,523
	2662,928	3014,698	2670,596	2823,186	2662,573
	2656,938	3010,13	2667,551	2821,689	2659,577
	2647,953	3008,607	2662,983	2817,195	2664,121
	2644,958	3011,653	2662,983	2817,196	2656,582
	2644,959	3004,041	2658,416	2814,2	2658,104
	2632,976	3007,084	2655,37	2812,704	2668,738
<b>Průměr</b>	<b>3109,076</b>	<b>3303,119</b>	<b>2945,785</b>	<b>2999,852</b>	<b>2875,411</b>
<b>s</b>	<b>313,791</b>	<b>183,099</b>	<b>273,9341</b>	<b>159,0643</b>	<b>198,8782</b>
<b>v</b>	<b>0,100927</b>	<b>0,055432</b>	<b>0,092992</b>	<b>0,053024</b>	<b>0,069165</b>
<b>lsd</b>	<b>3061,34</b>	<b>3275,265</b>	<b>2904,113</b>	<b>2975,655</b>	<b>2845,156</b>
<b>lsh</b>	<b>3156,812</b>	<b>3330,973</b>	<b>2987,457</b>	<b>3024,05</b>	<b>2905,665</b>